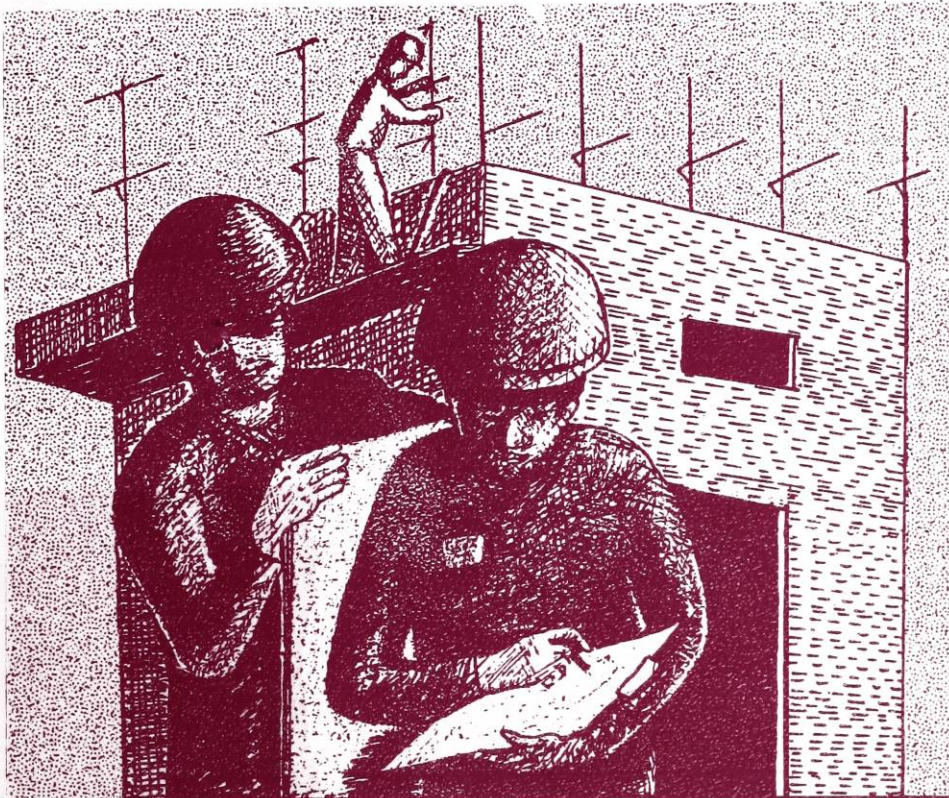


1048

Planeación y control de avance de obra

José Castro Orvañanos



JAM
TH438
C3.55

Planeación
y control
de avance de obra

217422
C.B. 2892826

Planeación y control de avance de obra

José Castro Orvañanos



2892826

UAM-AZCAPOTZALCO

RECTOR

Mtro. Víctor Manuel Sosa Godínez

SECRETARIO

Mtro. Cristian Eduardo Leriche Guzmán

COORDINADOR GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO

Mtro. Luis Soto Walls

COORDINADORA DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

DCG Ma. Teresa Olalde Ramos

JEFA DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES

Lic. Silvia Graciela Lona Perales

UAM
TH 438
C 3.55

ISBN: 970-654-450-X

© UAM-Azcapotzalco
José Castro Orvañanos

Corrección:

Marisela Juárez Capistrán

Ilustración de portada:

Consuelo Quiroz Reyes

Diseño de Portada:

Modesto Serrano Ramírez

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180
Col. Reynosa Tamaulipas
Delegación Azcapotzalco
C.P. 02200
México, D.F.

Sección de producción
y distribución editoriales
Tel. 5318-9222/9223
Fax. 5318-9222

1a. edición, 1999
1a. reimpresión, 2002

Impreso en México.

Í N D I C E

1.	EL PROCESO CONSTRUCTIVO	1
2.	PLANEACIÓN	2
3.	CONTROL	4
4.	EL MÉTODO DE LA RUTA CRÍTICA	6
5.	TÉCNICAS DE ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS APLICADAS A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	54
6.	TÉCNICAS DE MUESTREO DE LA ACTIVIDAD REAL	70
	ANEXO	73
	BIBLIOGRAFÍA	88

1. EL PROCESO CONSTRUCTIVO

Si se considera al proceso constructivo como un sistema, podrá representársele esquemáticamente en la siguiente forma:

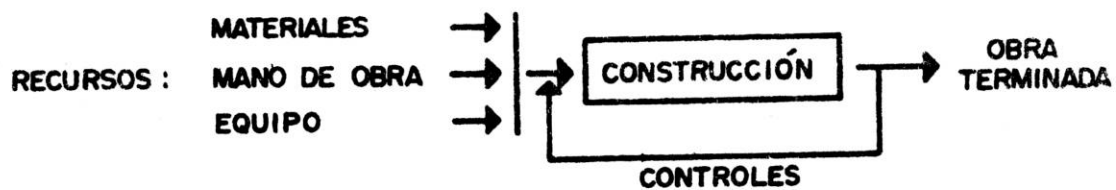


FIG. I

Para lograr un buen producto terminado, en calidad, en precio, y a tiempo, será necesario que el constructor ponga en juego toda su experiencia, conocimientos e inventiva, para poder optimizar el uso de los recursos disponibles y minimizar las desviaciones que vayan ocurriendo a lo largo de la obra con relación a lo previsto.

2. PLANEACIÓN

En forma convencional, puede definirse la planeación de las obras como la etapa en donde el constructor prevé lo que acontecerá en el campo.

En esta etapa se definirán los procedimientos de construcción a seguir, los recursos con que se contará para realizar los trabajos y los rendimientos que de ellos se esperan.

De lo anterior se desprende que mientras mejor sea la calidad de la planeación, menos problemas e imprevistos se tendrán en la obra, y esta calidad dependerá del conocimiento del proyecto (alcances de las especificaciones, cubriciones, etc...) y de la información, tanto de los recursos disponibles (materiales, mano de obra y equipo) como del lugar mismo donde se realizará la construcción (servicios existentes, clima, topografía, accesos, etc...).

El resultado de lo planeado en términos de dinero, lo constituye el presupuesto; el programa también lo es, pero en términos de tiempo. La interrelación o dependencia que existe entre planeación-programa-presupuesto, podría representarse como sigue:

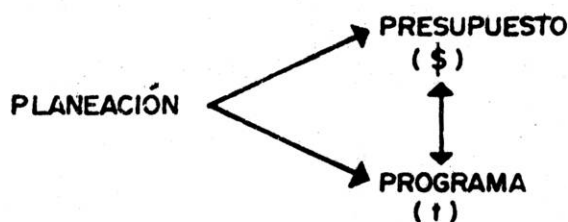


FIG. 2

Cabe aclarar que el proceso de planeación es iterativo, ya que cuando el costo o el tiempo de realización correspondiente a una determinada planeación, no son del todo satisfactorios, será necesario replanear la obra las veces que sea necesario hasta llegar a un resultado aceptable.

Lógicamente, es imposible lograr una planeación perfecta, ya que siempre existirán contingencias imprevisibles, y por lo tanto, siempre habrá desviaciones de los planes originales.

3. CONTROL

Aunque existen varias acepciones del término control, se entenderá en adelante como el detectar las desviaciones entre lo que se pensaba que iba a suceder y lo que realmente sucede en la obra.

Tradicionalmente existen tres tipos de control: control de calidad, control de costo y control de avance; aunque en realidad existen otros controles, como el financiero, el de personal, etc... Habrá tantos controles como comparaciones se hagan.

Para que un control se califique como "bueno", deberá ser completo, veraz y oportuno. Con estas tres cualidades del control, será posible tener una visión realista de las cosas, y se facilitará tomar acciones correctivas apropiadas.

Como para corregir las desviaciones será necesario replanear las actividades, el proceso constructivo puede quedar expresado de la siguiente manera:

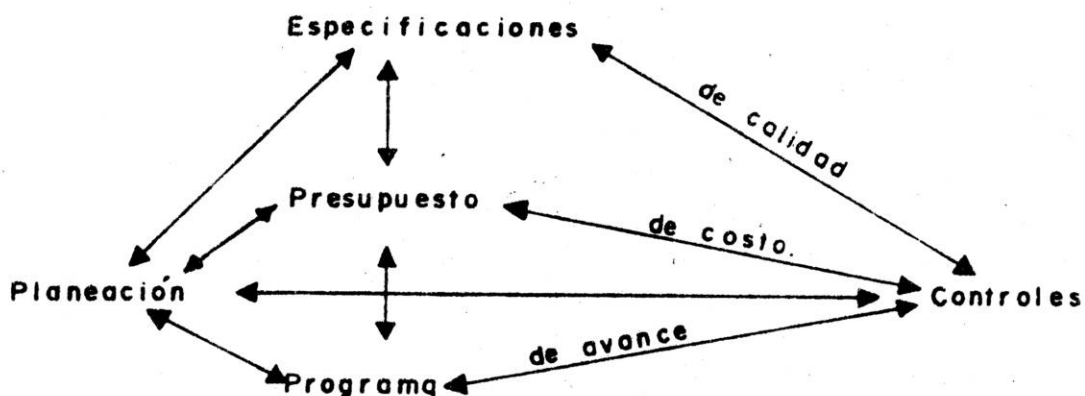


FIG . 3

Como una ayuda a la realización más eficiente y racional de las etapas de planeación y control de avance de obra, se desarrolló el método de la ruta crítica, cuya descripción y forma de aplicación aparece a continuación.

4. EL MÉTODO DE LA RUTA CRÍTICA

4.1 INTRODUCCIÓN

En ocasiones se ha confundido al método de la ruta crítica o CPM (Critical Path Method) con el método PERT (Program Evaluation Research Task), porque ambos métodos de programación utilizan redes de actividades y por haber sido desarrollados prácticamente en la misma época. Sin embargo, tienen una diferencia fundamental que los hace aplicables a problemas muy distintos.

La ruta crítica es un método determinista (define una duración específica para cada actividad) y su aplicación es sumamente útil en la planeación y control de obras, siempre y cuando dicha aplicación sea dinámica y su uso sea sencillo y práctico con los recursos de que se disponga.

El PERT es un método probabilista (define duraciones medias, optimistas y pesimistas para cada actividad) y se usa en la elaboración de programas de ciertos proyectos sumamente complejos e inciertos, en los que se requiere manejar datos probabilísticos, como fue el caso del proyecto Polaris o del proyecto Apolo, en donde hubo que programar actividades que requerían de elementos que aún no se conocían y cuya duración era imposible de definir en forma determinística. Su aplicación a la construcción resulta poco recomendable, no sólo por la mayor complejidad de su cálculo, sino por el volumen de información que requiere.

Por las razones expuestas, y como estas notas están dirigidas a constructores, en adelante sólo se hablará del CPM.

Aunque en ocasiones el tamaño y la complejidad de algunos proyectos, tales como las refinerías, requieren para su aplicación del uso de una computadora, en la mayoría de las obras es posible prescindir de ella. Por ello y porque es necesario dominar la mecánica del método para sacar

provecho de él, se enfocará su descripción y su aplicación en forma manual, sin utilizar la computadora en absoluto.

Para su estudio, el método se dividirá en tres fases o etapas:

La primera se ocupa de la elaboración de la red de actividades, o sea, la representación gráfica de las secuencias definidas en la etapa de planeación.

La segunda calcula el programa de obra, definiendo las fechas de inicio y terminación de cada actividad, con sus distintos tipos de holguras y su representación gráfica. En esta etapa se incluye la reasignación de recursos y la determinación de los programas colaterales de obra, tales como de equipo, de personal, etc...

La tercera estudia la compresión de la red y el cálculo de la curva tiempo-costo mínimo.

4.2 PRIMERA FASE CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE ACTIVIDADES

La red de actividades es la representación gráfica de la secuencia en que se desarrollarán las actividades en la obra. Para su elaboración se usan las notaciones de las flechas y la de los nodos. Ambas suponen las siguientes hipótesis:

- a) Que las actividades no se traslapen. Para poder iniciar alguna actividad, deben terminarse completamente todas las actividades que le preceden.
- b) Las actividades son independientes en cuanto a su realización, y sólo tienen relación entre sí en cuanto a su secuencia de ejecución.

La notación de las flechas fue la primera en usarse, y aunque en la práctica se le considera obsoleta, todavía es usada en la actualidad por programadores de computadora o por ciertos "consultores en ruta crítica". Los primeros la usan porque les facilita su trabajo, y los segundos, porque dicha notación implica varios problemas que hacen difícil el uso del método en obra, lo que hace necesaria su presencia y justifica su contratación.

La notación de nodos, por su sencillez y porque elimina los problemas que se presentan en la otra notación, es la más usada en la actualidad.

4.2.1 Comparación de las dos notaciones

Con objeto de comparar las dos notaciones en forma clara, se escogió un problema específico muy sencillo, consistente en el tendido de una tubería en un tramo de 240m de largo, cuya excavación tiene 1 m² de sección:

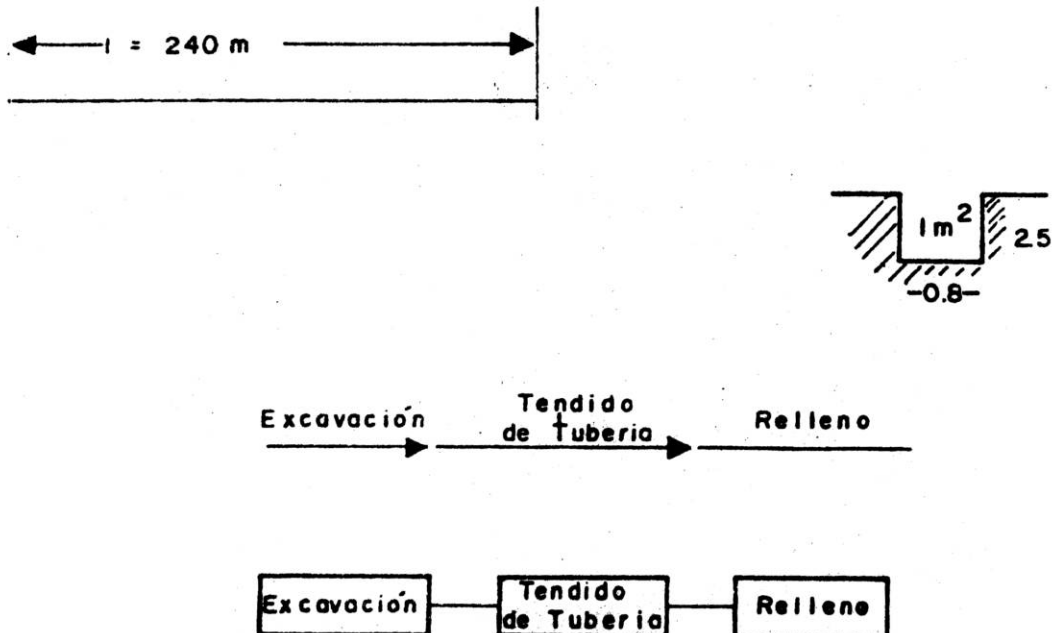


FIG . 4

Si se piensa que se debe empezar a colocar la tubería cuando esté terminada la mitad de la excavación, como por la hipótesis no se pueden traslapar las actividades, habrá necesidad de dividir la longitud total en dos partes, y si llamamos a la primera parte Zona A y a la segunda parte Zona B, la red de actividades quedará como sigue para cada notación:

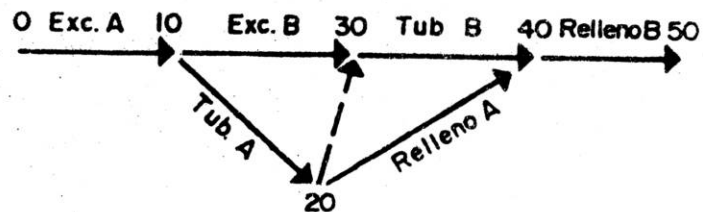


FIG. 5

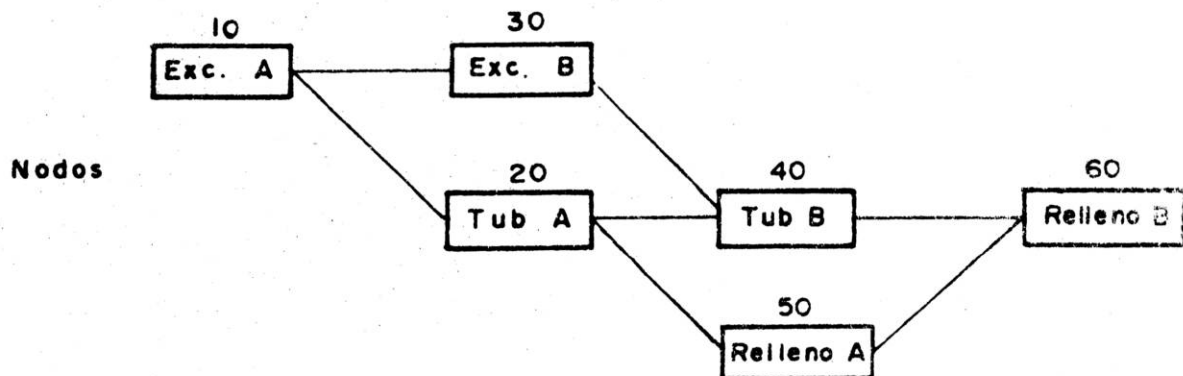


FIG 6

Si al revisar la red, se decide o se descubre que es necesario agregar la actividad "suministro de tubería" antes del tendido de la misma, y únicamente se dibuja esta actividad en las redes originales, se tendrá lo siguiente:

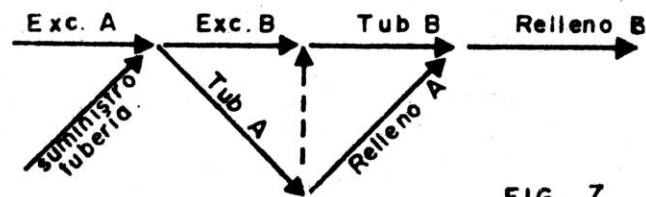


FIG. 7

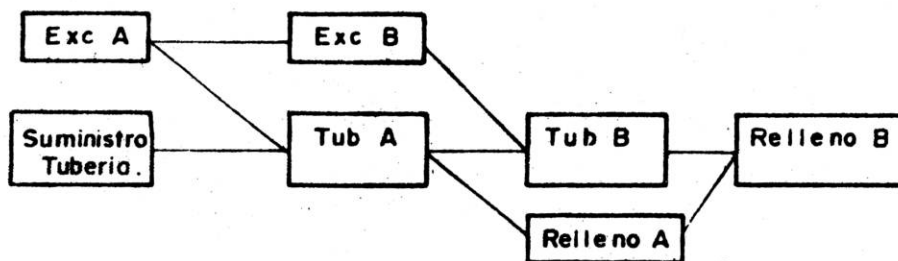


FIG. 8

En el primer caso se ve que la red no representa lo que se quiere, ya que indica que la excavación en la zona B no se podrá iniciar mientras no esté la tubería en la obra, cosa absurda, ya que no existe ninguna relación entre el suministro de la tubería y la excavación.

Para representar la realidad, que es lo que indica el segundo diagrama (fig 8), habrá que hacer uso de alguna actividad "ficticia", o sea, una actividad cuyo costo y tiempo de ejecución sea cero. Esto se hará de la siguiente manera:

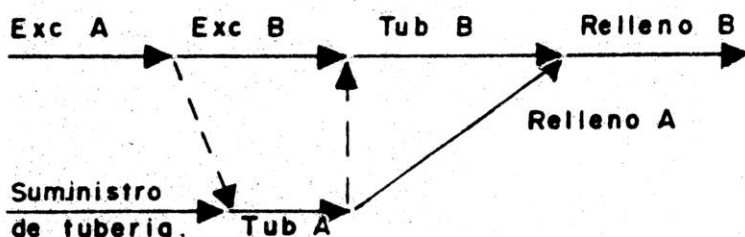


FIG. 9

Lo anterior ilustra los tres problemas que acarrea la notación de las flechas:

1. Redibujar la red cuando es necesario modificarla
2. La omisión de una sola actividad ficticia, hace que la red no sirva, o sea, que no expresa lo que se quiere.
3. Normalmente en cualquier red, más del 50% de las actividades son ficticias, lo que hace que las redes de flechas sean mucho más complicadas de analizar.

Estos problemas han originado que la notación de las flechas haya sido rechazada por la mayoría de los usuarios del método.

Un ejemplo que confirma claramente lo anterior, es el que se presenta a continuación, y que consiste en la construcción de la losa de un paso a cubierto:

Simbología usada:

P_1	puntales en la zona 1	Ci_1	cimbra en la zona 1
P_2	puntales en la zona 2	Ci_2	cimbra en la zona 2
P_3	puntales en la zona 3	Ci_3	cimbra en la zona 3
P_4	puntales en la zona 4	Ci_4	cimbra en la zona 4
Ar_1	armado en la zona 1	Co_1	colado en la zona 1
Ar_2	armado en la zona 2	Co_2	colado en la zona 2
Ar_3	armado en la zona 3	Co_3	colado en la zona 3
Ar_4	armado en la zona 4	Co_4	colado en la zona 4

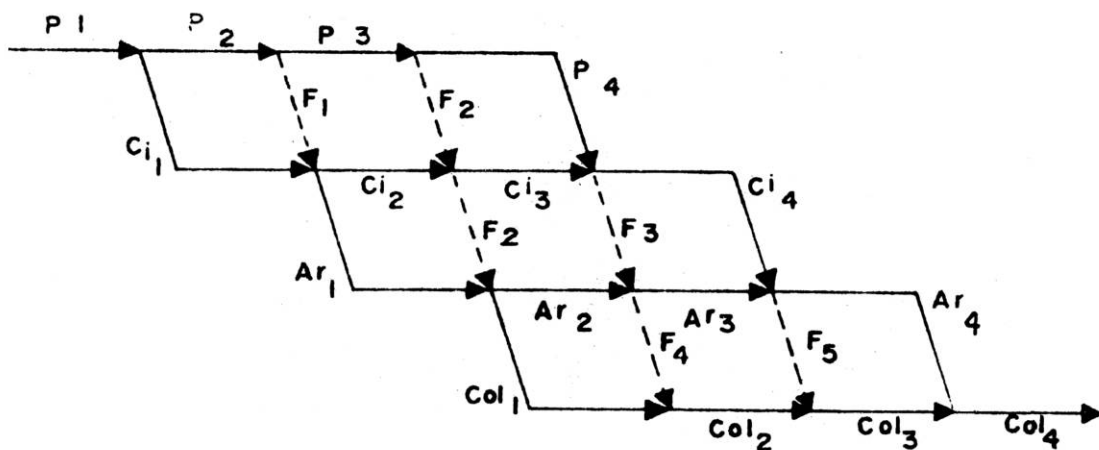


FIG. 10

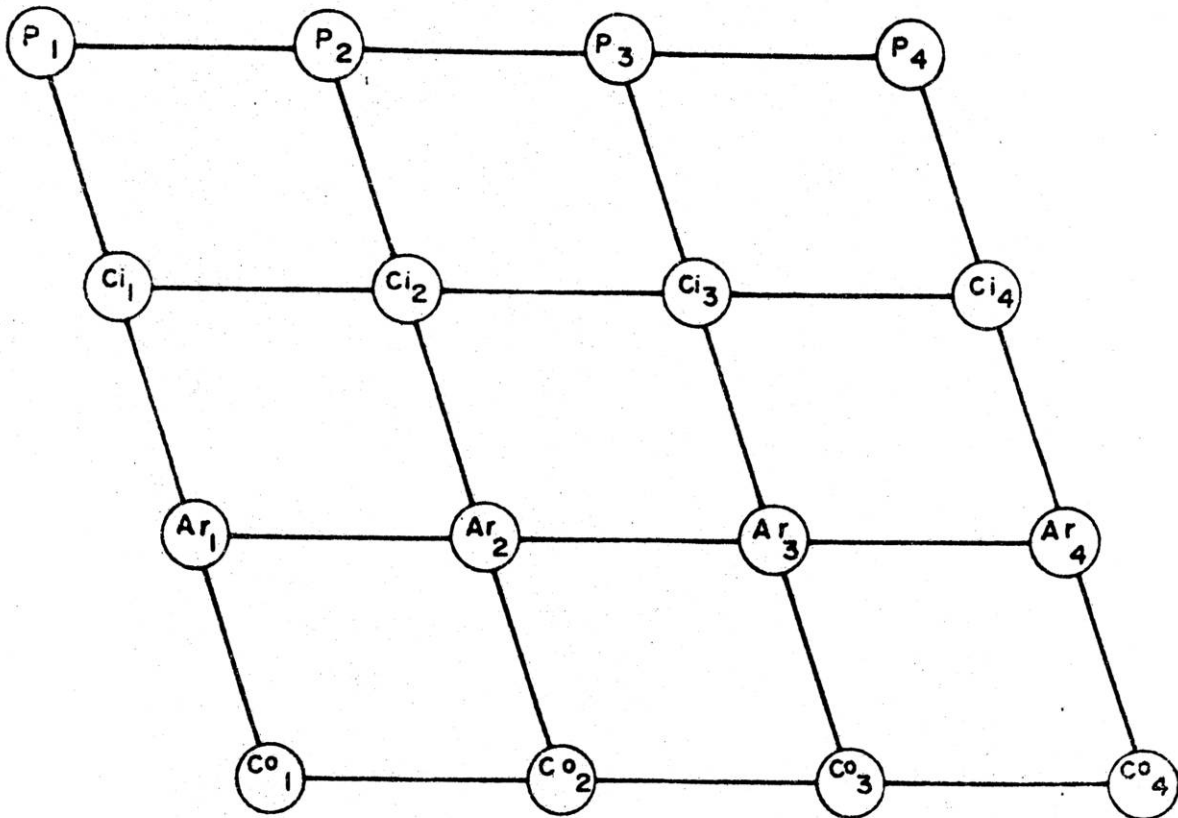


FIG. 11

Ambas redes aparentemente son iguales, ya que las actividades que anteceden a cualquiera de ellas son idénticas. Sin embargo, si se analizan las otras actividades precedentes, como las que se representan aisladamente en la figura 12, se descubrirá que hay ciertas secuencias que son absurdas, como que, para poder colar en la zona 1, sería necesario haber terminado la cimbra en la zona 2, lo mismo que los puntales en la zona 3.

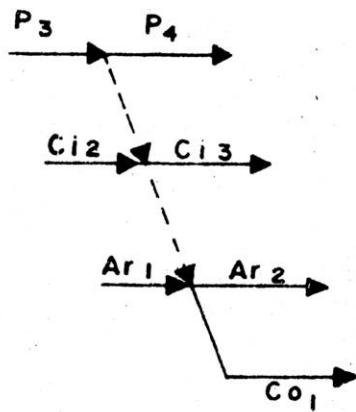


FIG. 12

El error consistió en omitir actividades ficticias, según puede verse en la siguiente red, que es la correcta:

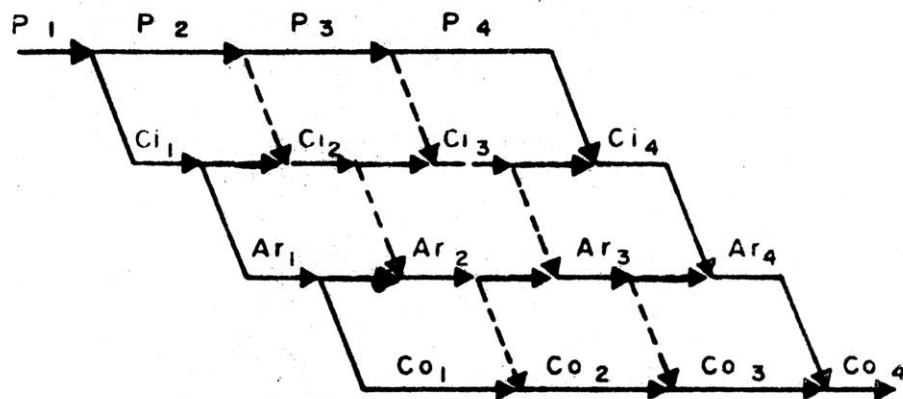


FIG. 13

En resumen, puede afirmarse que los problemas que se presentan cuando se usa la notación de las flechas, se derivan de la presencia de las actividades ficticias, y que éstas no existen en la notación de nodos. Por lo anterior, en adelante ya sólo se usará la notación de nodos.

4.3 SEGUNDA FASE: CÁLCULO Y REPRESENTACIÓN DEL PROGRAMA DE OBRA

Para el cálculo manual de la red, será necesario usar la convención siguiente:

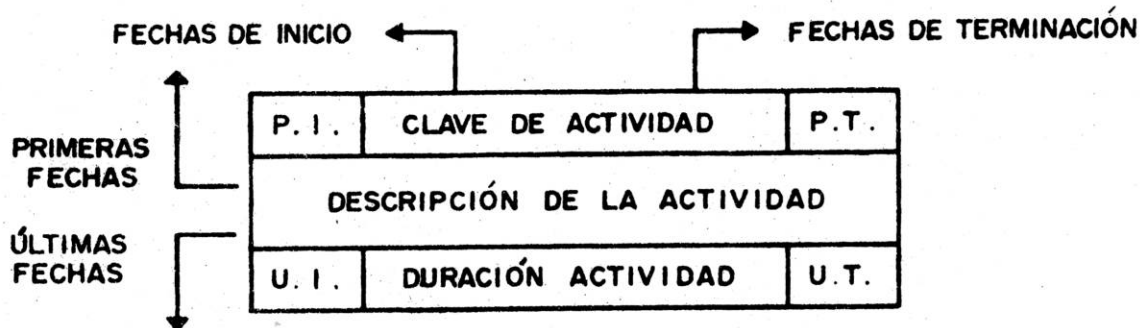


FIG. 14

- P.I. primera fecha de inicio
- P.T. primera fecha de terminación
- U.I. última fecha de inicio
- U.T. última fecha de terminación

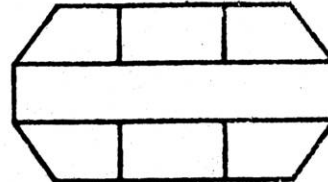
Es recomendable distinguir fácilmente en la red, las actividades que sean suministros, para lo cual éstas pueden representarse de la siguiente manera:

ACTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN

P. I.	II ACT.	P. T.
DESCRIPCIÓN		
U. I.	DURAC.	U. T.

FIG. 15

SUMINISTRO



Si una actividad específica B está precedida por \underline{n} actividades A_i y a ésta le siguen \underline{m} actividades C_i (fig 16), el cálculo numérico de la red se realizará según las siguientes fórmulas:

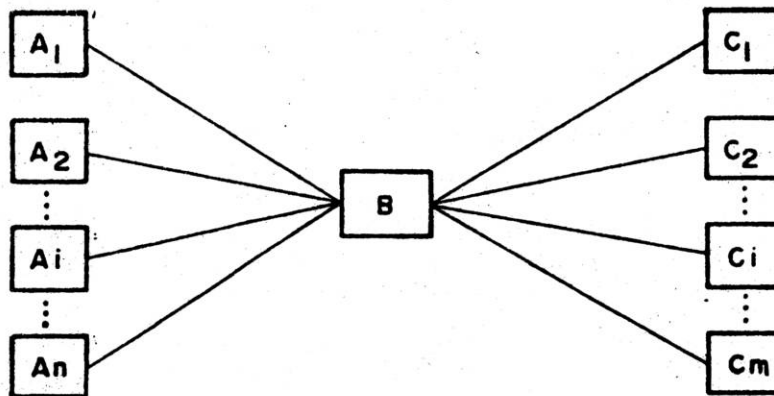


FIG. 16

$$(PI)_B = \text{mayor } (PT)_{A_i}$$

$$(PT)_B = (PI)_B + (\text{duración})_B$$

$$(UI)_B = (UT)_B - (\text{duración})_B$$

$$(UT)_B = \text{menor } (UI)_{C_i}$$

Las duraciones de las actividades deberán calcularse con base en los recursos con que se contará en la obra y con los rendimientos que de ellos se esperan.

Para el ejemplo del tendido de tubería que se ha venido desarrollando, las duraciones calculadas para cada actividad son las siguientes:

ACTIVIDADES

1 y 3 Excavación por tramo de 120m

(A - B ó B - C)

Recurso: 1 oficial + 4 peones = 1 cuadrilla

Rendimiento: 4 peones x 5 m³/día x peón = 20 m³/día

Duración: 120 m³/20 m³/día = 6 días

Costo: (\$225 + 4 x \$150)/20 m³ = \$41.25/m³

ACTIVIDADES

4 y 5 Colocación tubería por tramo de 120m

(A - B ó B - C)

Recurso: 1 oficial + 1 peón = 1 pareja

Rendimiento: (40ML/pareja x día) x 1 pareja = 40ML/día

Duración: 120ML/40 ML/día = 3 días

Costo: (\$225 + \$150)/40 ML = \$9.40/m

ACTIVIDADES

6 y 7 Relleno por tramo de 120m

(A-B ó B-C)

Recurso: 1 oficial + 4 peones = cuadrilla

Rendimiento: 4 peones x 15 m³/día x peón = 60 m³/día

Duración: 120 m³/60 m³/día = 2 días

Costo: (\$225 + 4 \$150) = \$14.60/m³

El cálculo de la red se hará con estas duraciones a partir de las actividades que no tienen ningún precedente, obteniéndose las primeras fechas de inicio y terminación.

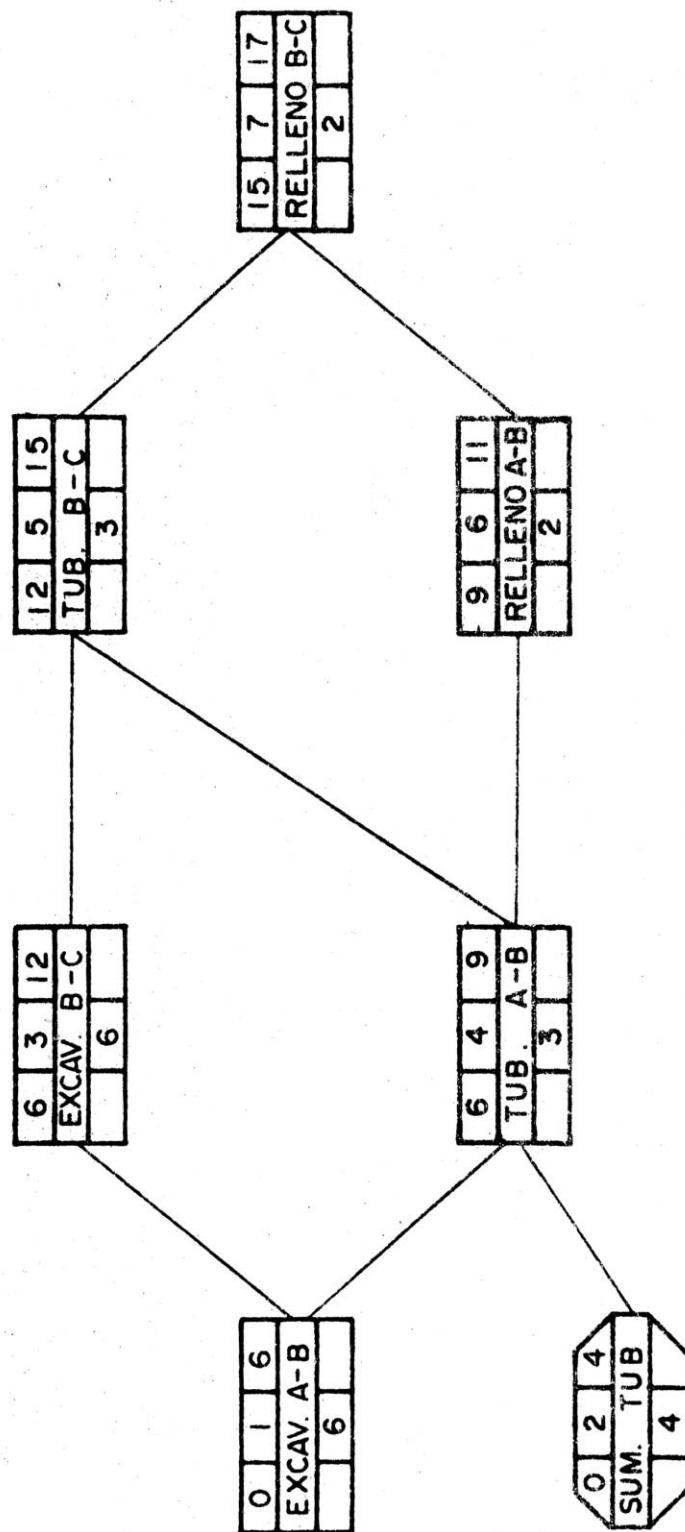


FIG. 17

A continuación se calcularán las últimas fechas de inicio y terminación, partiendo de la última actividad de la red, para lo cual se hará coincidir su primera y su última fecha de terminación (el proceso es opuesto al del cálculo de las primeras fechas)

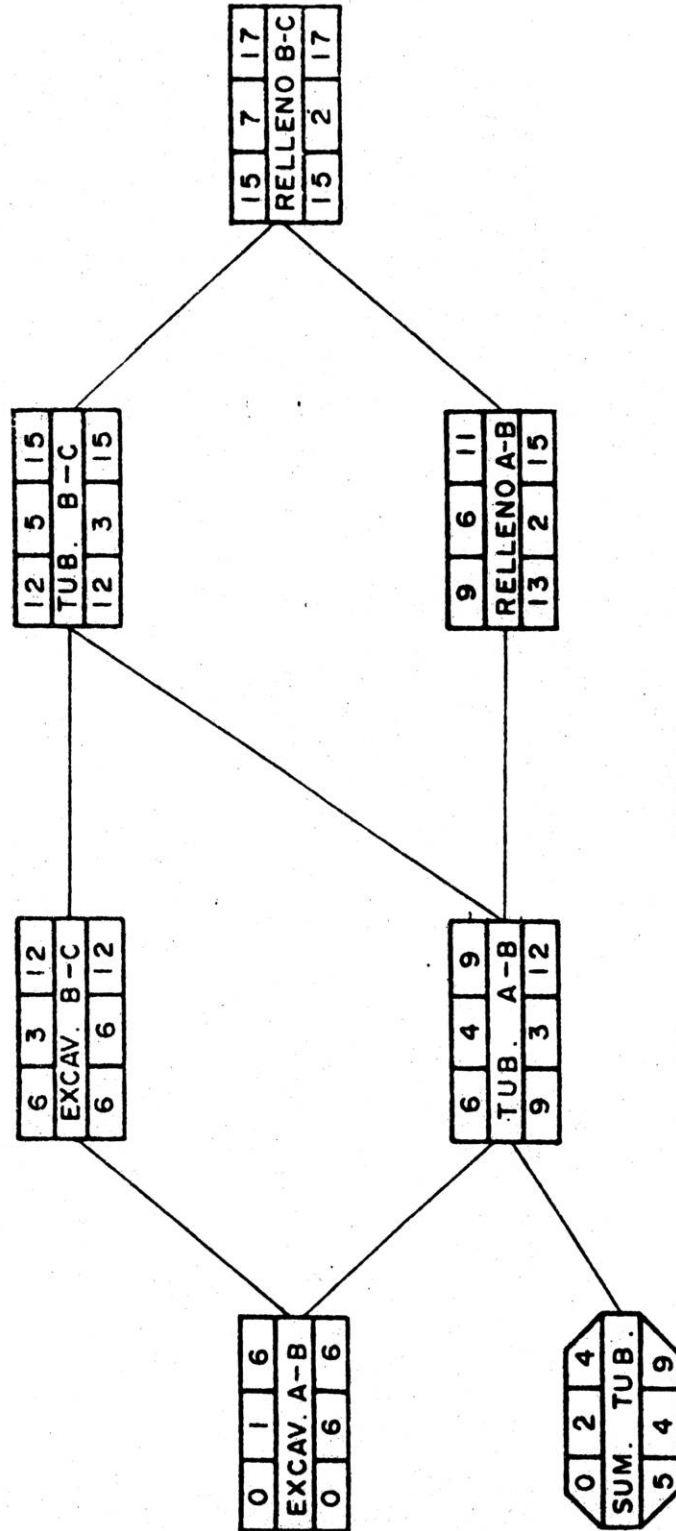


FIG. 18

Por definición, la holgura total de una actividad es el lapso de tiempo que puede posponerse la terminación de dicha actividad, sin que se modifique la fecha de terminación de la obra; su valor será la diferencia entre su primera y su última fecha de terminación.

Al analizar la actividad 2 de la figura 18 (suministro de tubería) se podrá observar que de los días que tiene de holgura total: $(UT = 9) - (PT = 4) = 5$ días, sólo dos días puede posponerse su terminación sin afectar a ninguna otra actividad. A partir de allí, aunque se puede seguir posponiendo dicha terminación sin modificar la fecha de terminación de la obra, sí se modificarán los inicios de algunas actividades subsecuentes.

De lo anterior se deduce que la holgura total de una actividad está integrada por dos partes: la holgura libre, que es el lapso de tiempo que puede posponerse la terminación de una actividad sin modificar el inicio de ninguna otra actividad y la holgura con interferencia, que es el tiempo que puede posponerse la terminación de una actividad sin modificar la fecha de terminación de la obra, aunque sí se alteren los inicios de algunas actividades subsecuentes. Algebráicamente, lo anterior puede expresarse como:

$$(HT)_B = (HL)_B + (HI)_B$$

en donde

$(HL)_B$: holgura libre de la actividad B

$(HI)_B$: holgura libre con interferencia de B

Si definimos como holgura particular a la diferencia entre la $(PI)_{Bi}$ y la $(PT)_{Ai}$ (siempre será entre dos actividades específicas relacionadas directamente entre sí), habremos descrito el significado de los cuatro tipos de holgura que maneja el CPM.

Por razones de facilidad en el manejo de la red, se ha decidido escribir sobre la liga de dos actividades, el valor de su holgura particular. Cuando ese valor es igual a cero, habrá que identificar ese caso con una doble raya, tal como aparece a continuación:

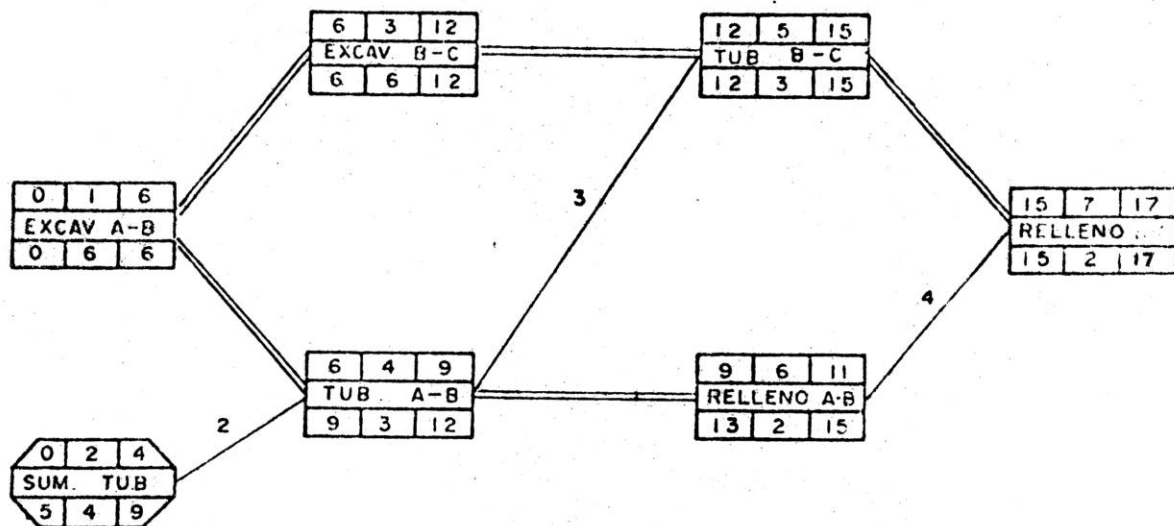


FIG. 19

Al contar con esta información, se puede calcular la holgura libre de cualquier actividad como la menor holgura particular que sale de dicha actividad:

$$(HL)_B = \text{menor } (HP)_{B-Ci}$$

Si definimos como ruta o camino crítico al conjunto de actividades que definen la fecha de terminación de una obra, será lo mismo decir, que la ruta crítica estará formada por el conjunto de actividades que no tienen holgura (actividades críticas).

Si en la red de la figura 19 identificamos una serie de actividades unidas ininterrumpidamente por doble raya (holguras particulares = 0), ésta será precisamente la ruta crítica de la red, la que deberá marcarse con triple raya.

De esta manera, la red totalmente terminada aparecerá de la siguiente forma:

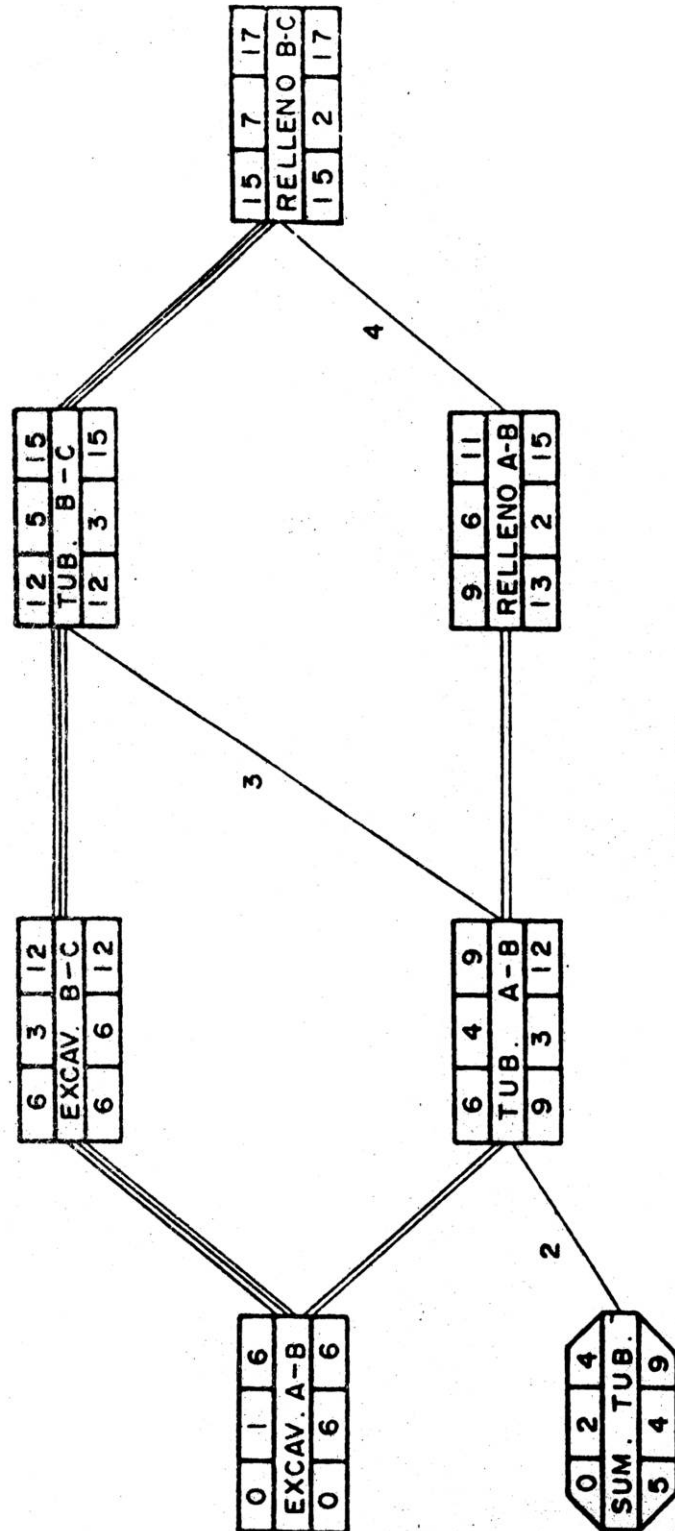


FIG. 20

Desde luego que en todas las actividades que pertenecen a la ruta crítica, la primera y última fecha de terminación coincidirán, ya que sus holguras totales necesariamente serán nulas.

Para diversas circunstancias, la representación en barras de la información que proporciona el método de la ruta crítica es sumamente útil, para lo cual se ha propuesto la siguiente convención:

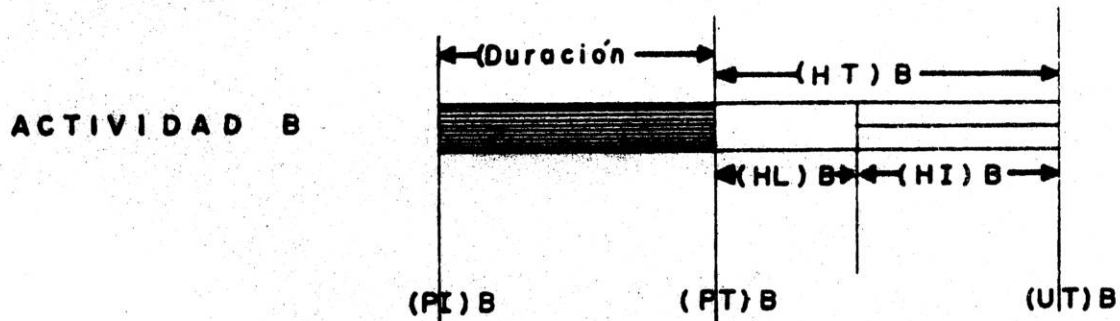


FIG. 21

Para ilustrar lo anterior, se muestra el siguiente programa de barras que corresponde a la red de la figura 20.

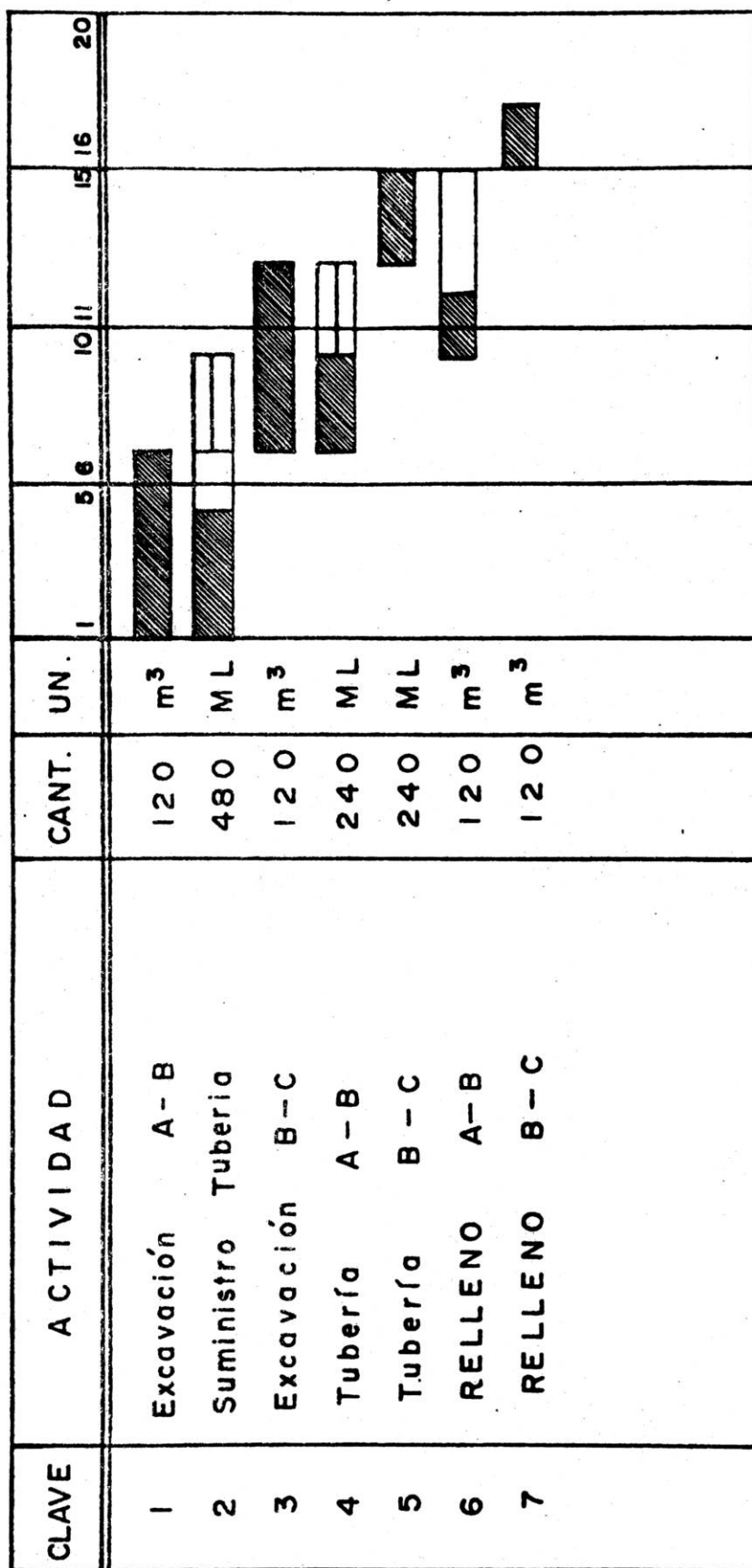


FIG. 2.2

Si se vacían los recursos que se piensa utilizar en la obra, en el diagrama de barras respectivo se obtendrán los programas "colaterales" de obra, tal como aparece a continuación (aunque sólo se muestra el programa de personal, en idéntica forma se obtendrían los otros programas colaterales, tales como el de equipo, de necesidades de materiales y compras, etc...)

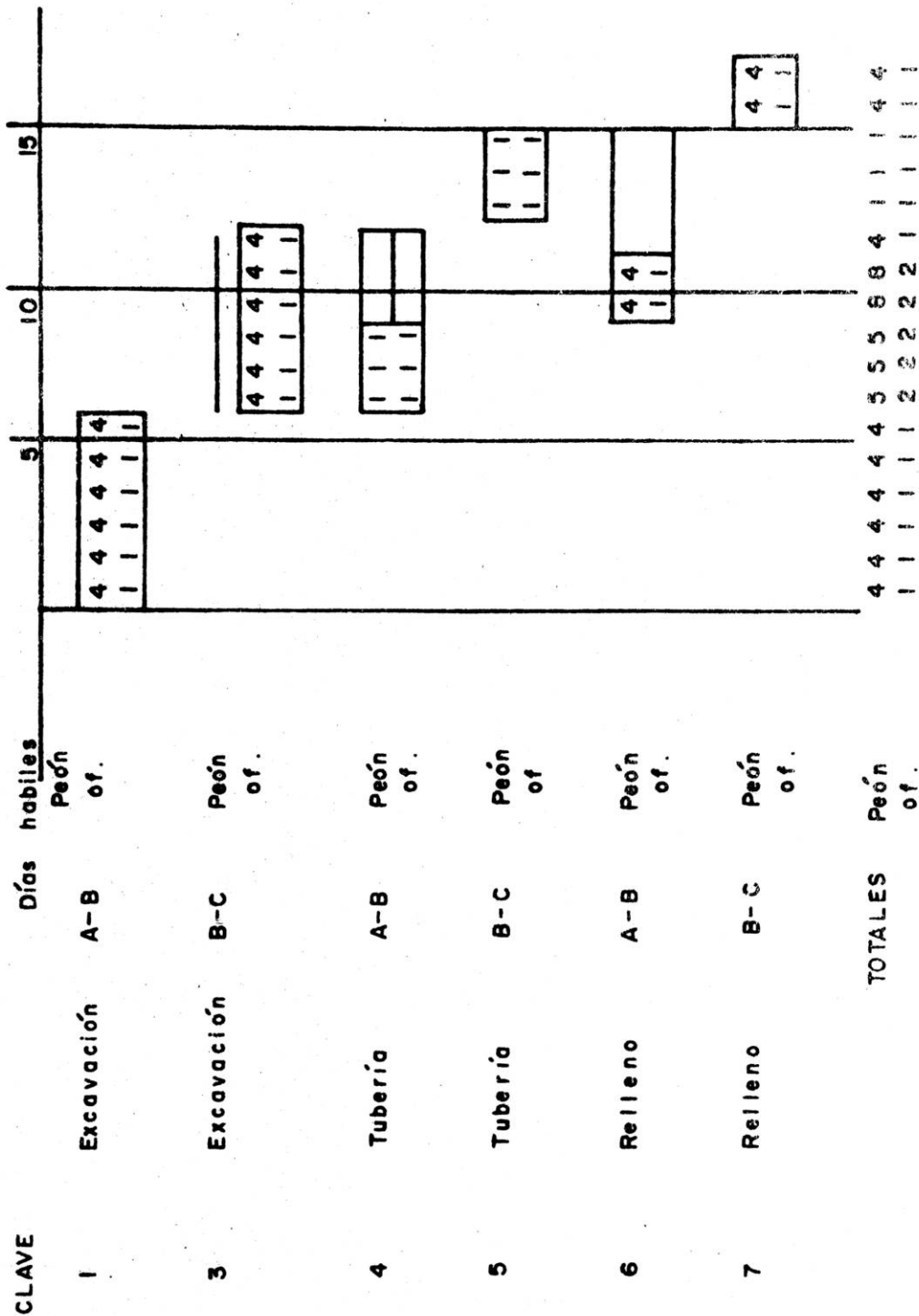


FIG. 23

Al observar los totales de la figura anterior, es fácil detectar la necesidad de redistribuir recursos para evitar problemas en la obra y minimizar los costos directos, ya que es imposible disponer de distintas cantidades de personal en determinadas fechas.

En general, puede decirse que es aconsejable eliminar los aumentos y las disminuciones frecuentes de los recursos necesarios, haciendo la distribución de dichos recursos lo más uniforme posible en el tiempo.

El conocimiento de las holguras es de gran valor y utilidad para hacer esta redistribución de recursos en una forma racional.

La red y el diagrama de barras, ya habiendo redistribuido los recursos, aparece en las figuras 24 y 25.

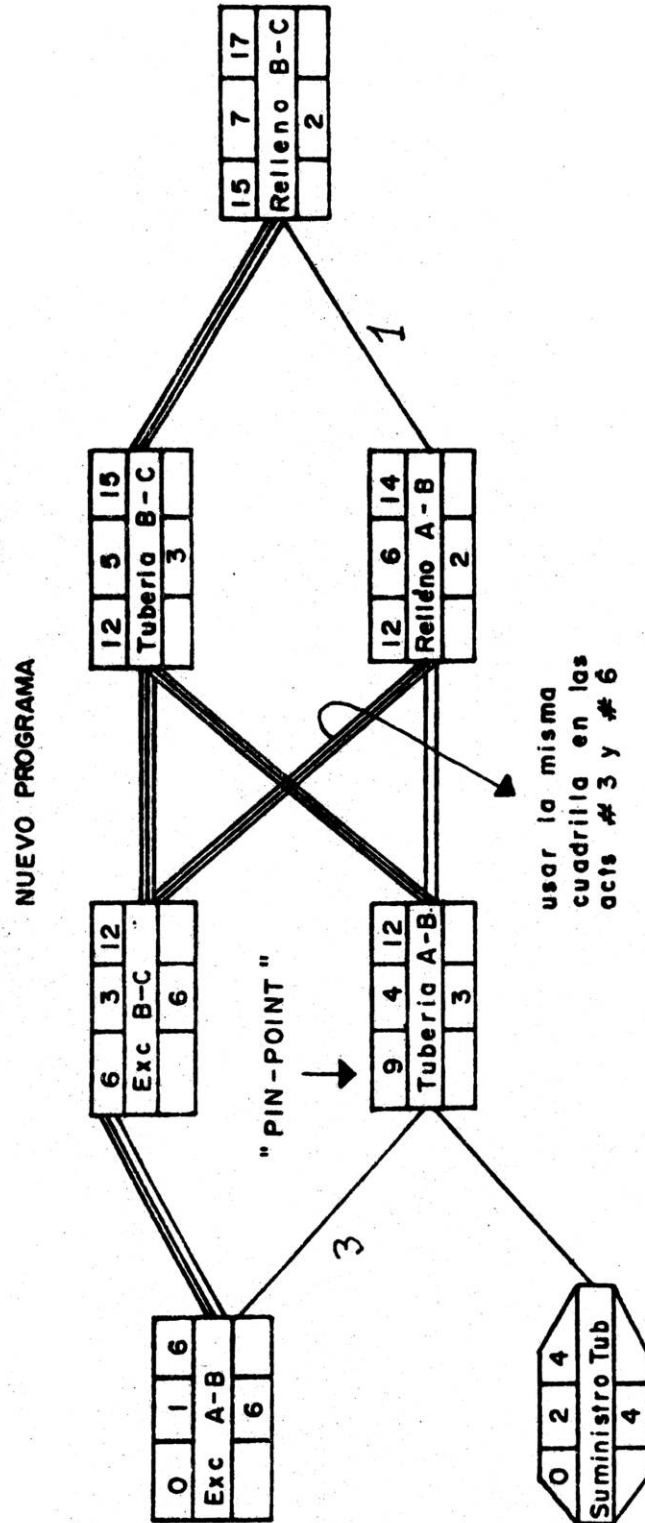


FIG. 24

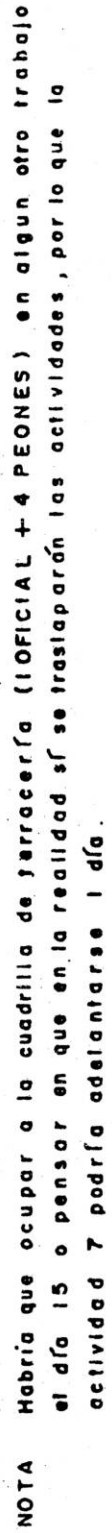


FIG. 23

Siguiendo la misma técnica, si en vez de vaciar los recursos en el programa de barras se vacían las cantidades de obra que se piensan realizar, el monto de estimaciones por realizar, etc..., se tendrán los programas que normalmente se elaboran en el sistema conocido como "administración por objetivos", que de hecho son metas parciales muy definidas por alcanzar en períodos de tiempo determinados.

En la red de la figura 24 se introdujo el concepto que los americanos llaman "pin point" y en nuestro medio se le empieza a llamar con el anglicismo "pin-pontear". Este concepto se puede definir como el hecho de fijar arbitrariamente la fecha de inicio o terminación de una actividad específica, independientemente de las demás actividades de la red. Esta actividad sirve como origen para el cálculo del resto de la red.

En ocasiones es conveniente su uso, como podría ser el caso del ejemplo descrito anteriormente, aunque en otras puede ser delicado, ya que cuando se "pimpontean" dos o más actividades, pueden obtenerse resultados absurdos, como duraciones negativas, etc...

A veces, el desglose de actividades que se hace para superar la restricción impuesta por la hipótesis referente al traslape de actividades, origina complicaciones serias en la red; debido a esto, se ha introducido el concepto conocido como "relación principio - principio, fin - fin", con el que se supera dicha restricción.

La relación "principio - principio, fin - fin" se representa gráficamente como sigue:

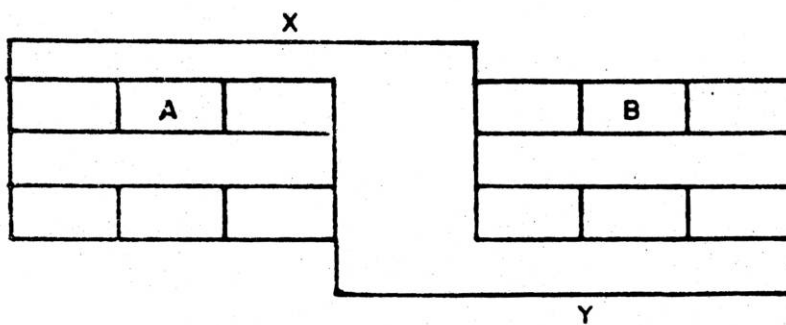


FIG . 27

Esto significa que la actividad B no puede iniciarse sino hasta después de X tiempo de iniciada la actividad A, ni tampoco terminarse antes de pasar Y tiempo de terminada la actividad A.

Para el cálculo de la red, cuando en ella existe este tipo de relación, se usarán los siguientes algoritmos:

Para obtener las primeras fechas de inicio y terminación:

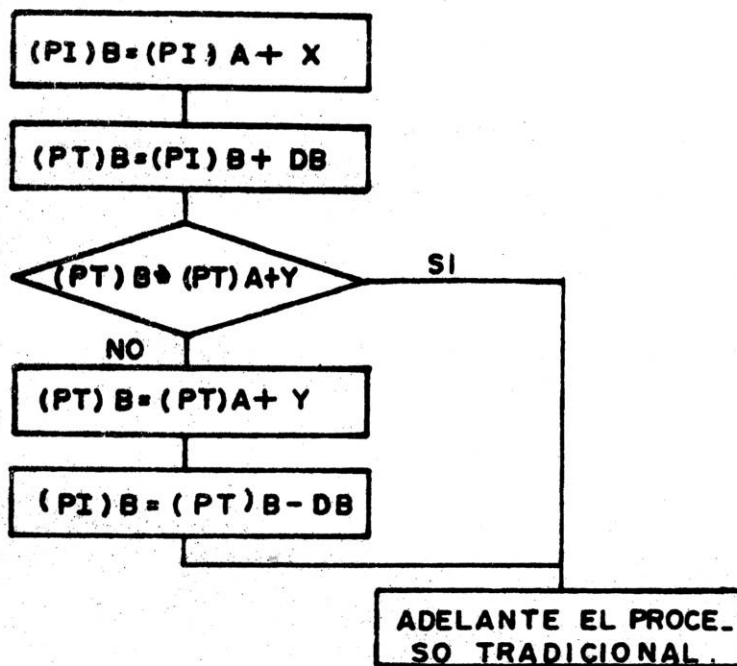


FIG . 28

2892826

Para obtener las últimas fechas de inicio y terminación:

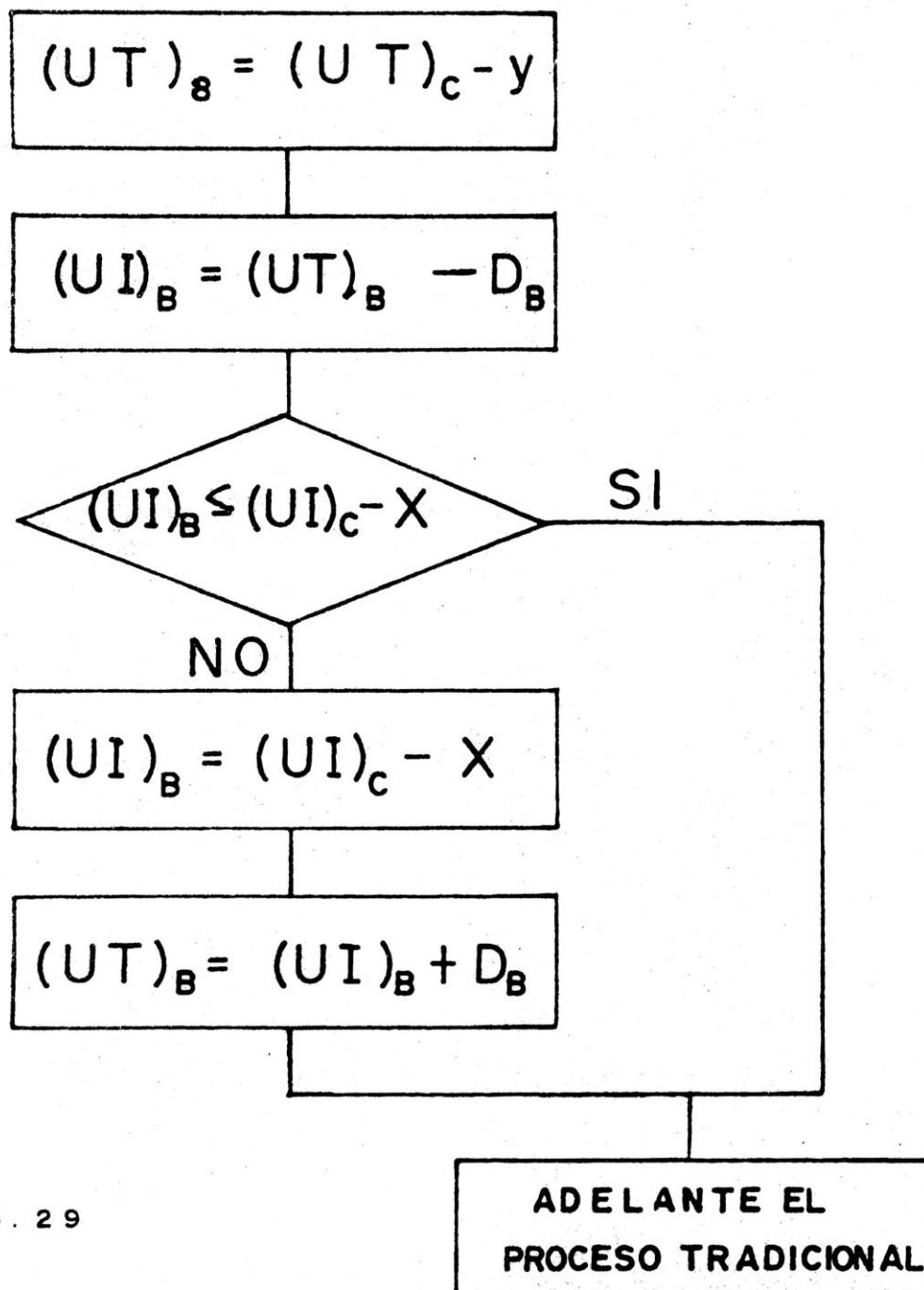


FIG. 29

De los algoritmos anteriores, es fácil detectar que existen casos en que la relación principio - principio es la que prevalece, y otros, en que la que rige es la fin - fin. Estos casos pueden representarse de la siguiente manera;

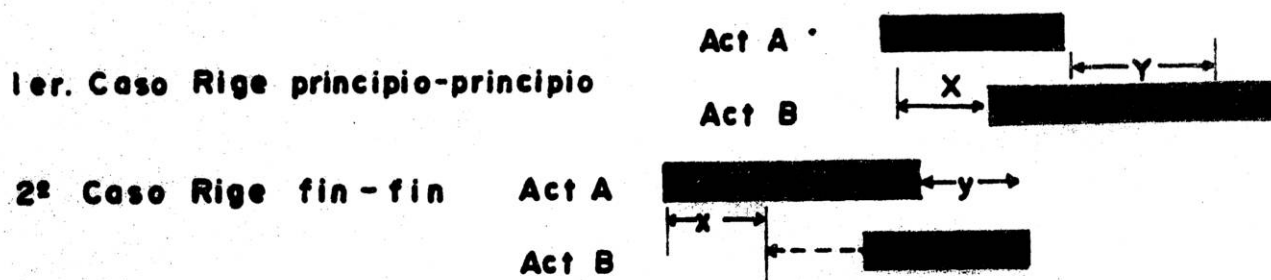


FIG. 30

La barra de la actividad B del segundo caso, tiene a su izquierda una flecha punteada. Esto significa, que si se considera conveniente aumentar la duración de la actividad B, puede hacerse hasta el límite señalado por la mencionada flecha, sin necesidad de posponer la flecha de terminación establecida.

Algunas personas se atreven a llamar "holgura invertida" a este lapso de tiempo que puede aumentar la duración de una actividad, modificando su fecha de inicio y respetando su primera fecha de terminación.

Para ilustrar lo anterior se propone el siguiente ejemplo, consistente en la construcción de una estructura de dos niveles:

La estructura se construirá a base de columnas, traves portantes y sistema de piso prefabricado montado sobre las traves portantes.

La red de actividades calculada según los algoritmos de las figuras 28 y 29, es la que aparece a continuación:

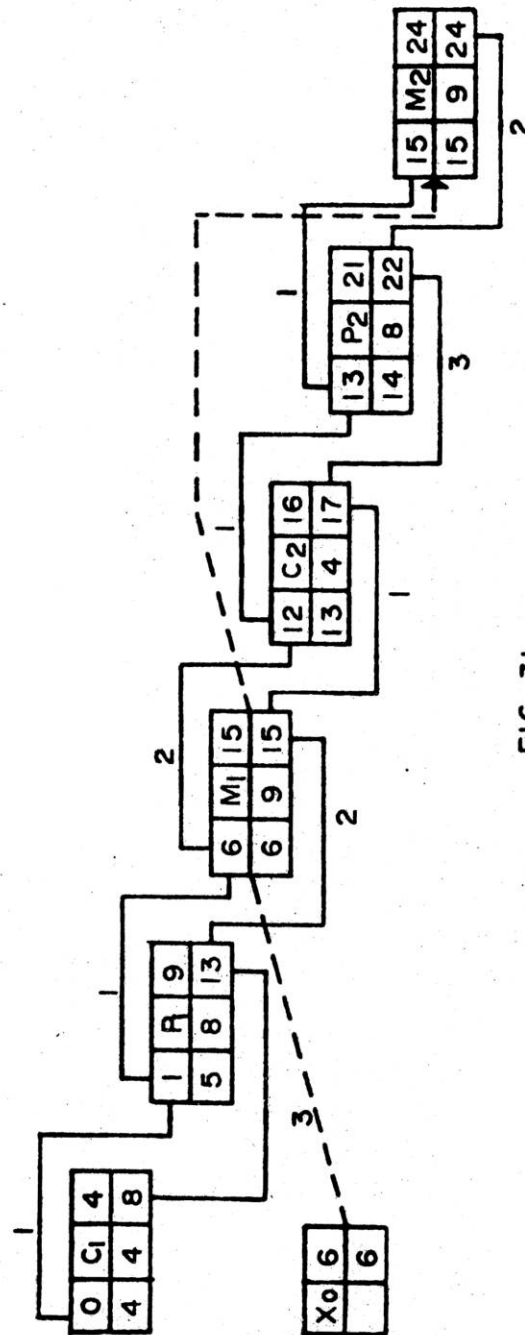


FIG. 31

en donde

C_i = Columnas en el nivel i

P_i = Traves portantes en el nivel i

M_i = Montaje del sistema de piso en el nivel i

La representación en barras de esta red, aparece a continuación:

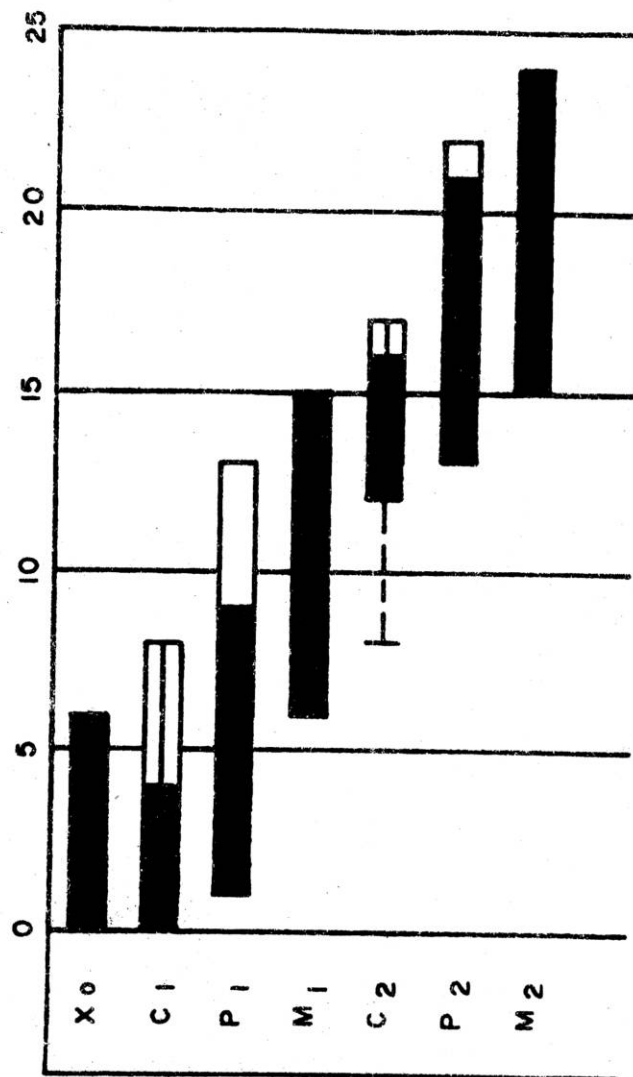


FIG. 32

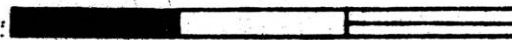
Desde un principio se dijo que el método de la ruta crítica deberá aplicarse en una forma dinámica, tanto en la etapa de planeación como de control. Esto significa que el programa original debidamente afinado, deberá servir como guía para la obtención de las desviaciones que vayan ocurriendo durante la ejecución de la obra, y cuando se requiera, se modificará dicho programa adecuándose a las nuevas circunstancias y a las decisiones tomadas como resultado de la replaneación de la obra.

Para ejercer el control de avance de obra, según la definición de control dada en un principio, será necesario comparar el programa vigente contra el avance reportado en una determinada fecha, y valorar las consecuencias de las desviaciones detectadas.

Esto puede lograrse si se dibuja junto a la barra correspondiente a cada actividad, otra barra que represente el trabajo desarrollado, definiendo el final que ésta tendría si se siguiera trabajando al mismo ritmo y se siguieran obteniendo los mismos rendimientos.

PRIMER CASO: Se está dentro de programa; todo O.K.

Barra de programa original :



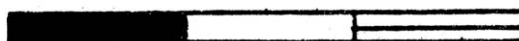
Barra de avance de obra



FIG. 33

SEGUNDO CASO: La posible terminación está en la zona de holgura libre. No pasa nada, sólo disminuye la holgura de la propia actividad

Barra de programa original



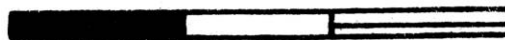
Barra de avance de obra



FIG. 34

TERCER CASO: La posible terminación está en la zona de holgura con interferencia. Aunque todavía habrá posibilidad de terminar a tiempo la obra, ya se habrán usado holguras de otras actividades, y será necesario conocer si ya aparecieron nuevas actividades críticas.

Barra de programa original



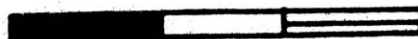
Barra de avance de obra



FIG. 35

CUARTO CASO: Se atrasa la terminación de la obra. Habrá que reprogramar la obra si se desea terminar en la fecha predeterminada, o comprimir la nueva red actualizada

Barra de programa original



Barra de avance de obra

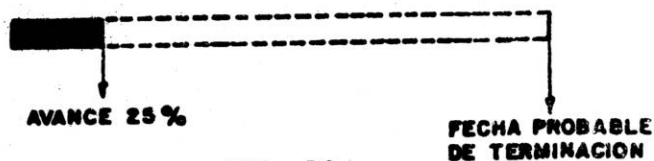


FIG. 36

Habrá casos en que no pueda calcularse esta posible terminación por extrapolación de la información recibida, sino que habrá que definirla por el tipo de trabajo faltante por realizar, los problemas específicos que habrá que resolver o las nuevas fechas de suministro de los elementos requeridos para la terminación de dichas actividades.

4.4 TERCERA FASE CURVA COSTO-TIEMPO MÍNIMO

Si se considera que los costos indirectos de una obra, son prácticamente constantes, podemos graficar la relación tiempo-costo de la siguiente manera:

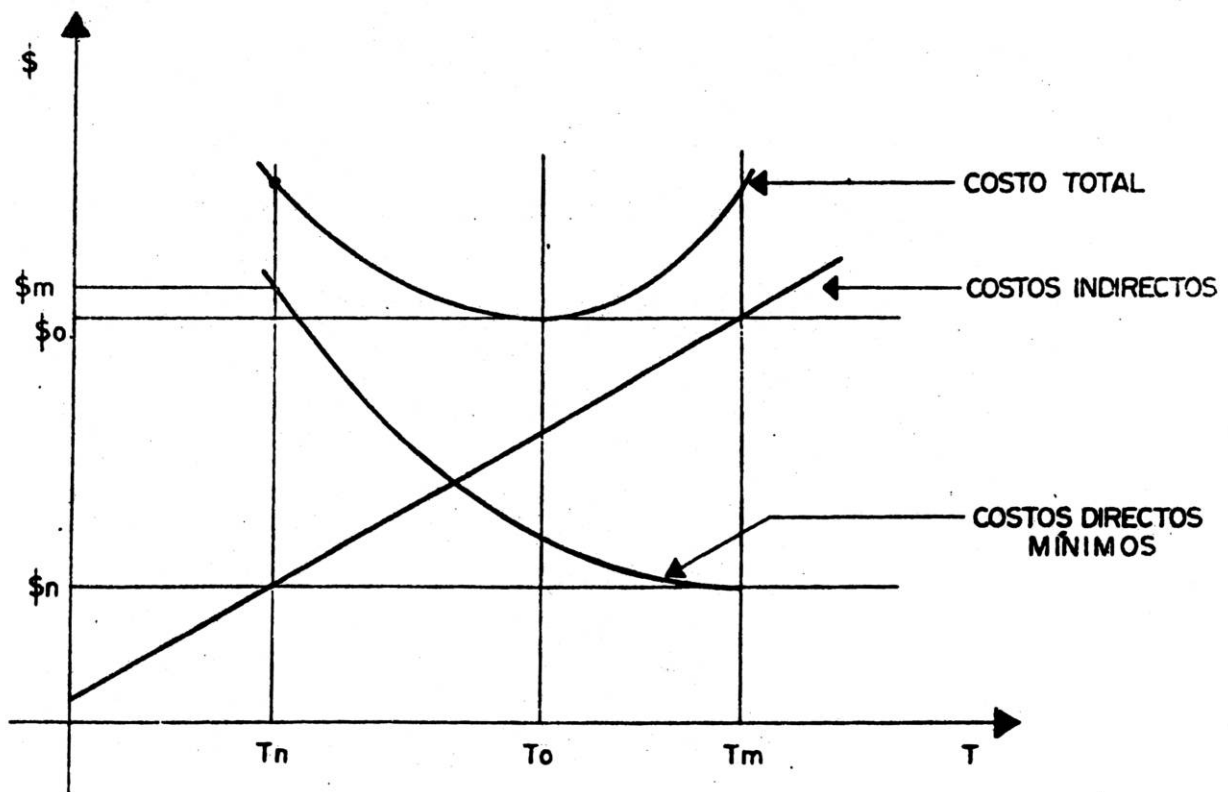


FIG. 37

en donde:

t_n = (tiempo normal): tiempo de realización de la obra, en donde el costo directo es mínimo (\$) N.

t_m = (tiempo mínimo): tiempo menor en que físicamente es posible realizar la obra, suponiendo que se tienen recursos ilimitados disponibles y que no interesa el importe del costo correspondiente.

t_o = (tiempo óptimo): tiempo de realización de la obra, en donde el costo total es mínimo: (\$) o.

La tercera fase del método de la ruta crítica, versa sobre la forma de obtener la curva tiempo-costo directo mínimo o expresando en otras palabras, cómo comprimir la red en la forma más económica.

La hipótesis que se introduce en esta etapa, consiste en suponer una variación lineal costo-tiempo para cada una de las actividades de la red, cosa que estrictamente no se cumple en la realidad.

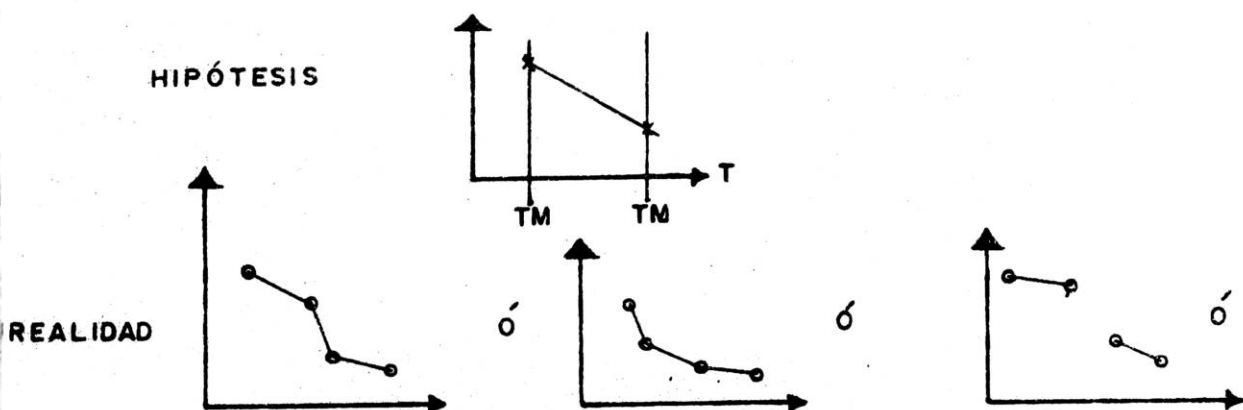


FIG. 38

El proceso de compresión de la red, es un proceso netamente iterativo y tedioso de hacer manualmente, por lo que muchas personas limitan su aplicación para los casos en que se utiliza la computadora.

Por otra parte, la experiencia ha demostrado que en la realidad el uso de la computadora en la aplicación de la tercera fase del CPM es prácticamente inútil, no sólo por las implicaciones de la hipótesis introducida (fig 38), sino por la imposibilidad de obtener la información que requiere la máquina: los t_n y t_m de cada una de las actividades de la red con sus respectivos costos.

Sin embargo, la metodología que se usa en esta etapa es muy valiosa en su aplicación manual, ya que conduce al constructor a tomas de decisiones racionales y realistas, al no perder la noción de las limitaciones que implican la hipótesis del método, ni tampoco las situaciones reales de disponibilidad de recursos en un momento dado.

La metodología para la obtención de la curva costo directo mínimo-tiempo, consiste en modificar alguna(s) actividad(es) de la red, siguiendo la secuencia que se describe a continuación:

a) Identificación de alternativas

Para lograr acortar la duración de la obra, será necesario identificar las actividades críticas cuyas duraciones puedan variarse, y que el valor de las modificaciones que se hagan coincida con la variación de la nueva fecha de terminación de la obra.

b) Selección de la alternativa más conveniente

De las alternativas identificadas, según se describe en el párrafo anterior, se debe seleccionar la más

económica. Si se cumpliera la hipótesis introducida, esta alternativa sería la que tuviera menor incremento de costo en la unidad de tiempo.

c) Determinación del acortamiento de la alternativa seleccionada

El último paso del proceso, consistirá en determinar el acortamiento de la alternativa seleccionada, y esto se hará tomando en cuenta las dos restricciones siguientes:

- El tiempo mínimo de realización de la alternativa
- Que la alternativa no deje de ser crítica

Una vez que se hayan llevado a cabo los tres pasos descritos, se volverá a repetir el proceso n veces, partiendo cada vez de la red resultante en cada caso.

Esto implica necesariamente que en cada paso existirán otras alternativas que habrá que identificar y manejar en forma semejante a como se describió anteriormente.

Con objeto de ilustrar lo anterior, se desarrollará el siguiente ejemplo, en donde se supone que los recursos que presupone la red, ya han sido distribuidos convenientemente.

En los cálculos mostrados sólo aparecen las primeras fechas de inicio y terminación, ya que no se manejan en la tercera fase las últimas fechas de inicio y terminación. Sólo cuando se obtiene la duración de la obra deseada, habrá necesidad de calcular estas últimas fechas para poder obtener el calendario de barra correspondiente, el cual se usará como base del control de avance de obra.

ACTIVIDAD	NORMAL		MÍNIMO		$\Delta S/\Delta T$
	TIEMPO (semanas)	COSTO (miles de pesos)	TIEMPO (semanas)	COSTO (miles de pesos)	
1	4	250	3	265	15
2	10	160	7	190	10
3	15	140	13	160	10
4	7	145	6	150	5
5	8	130	5	175	15
6	1	200	1	200	-
7	6	140	4	180	20
8	12	110	11	115	5
9	2	120	2	120	-
		<u>1,295</u>		<u>1,455</u>	

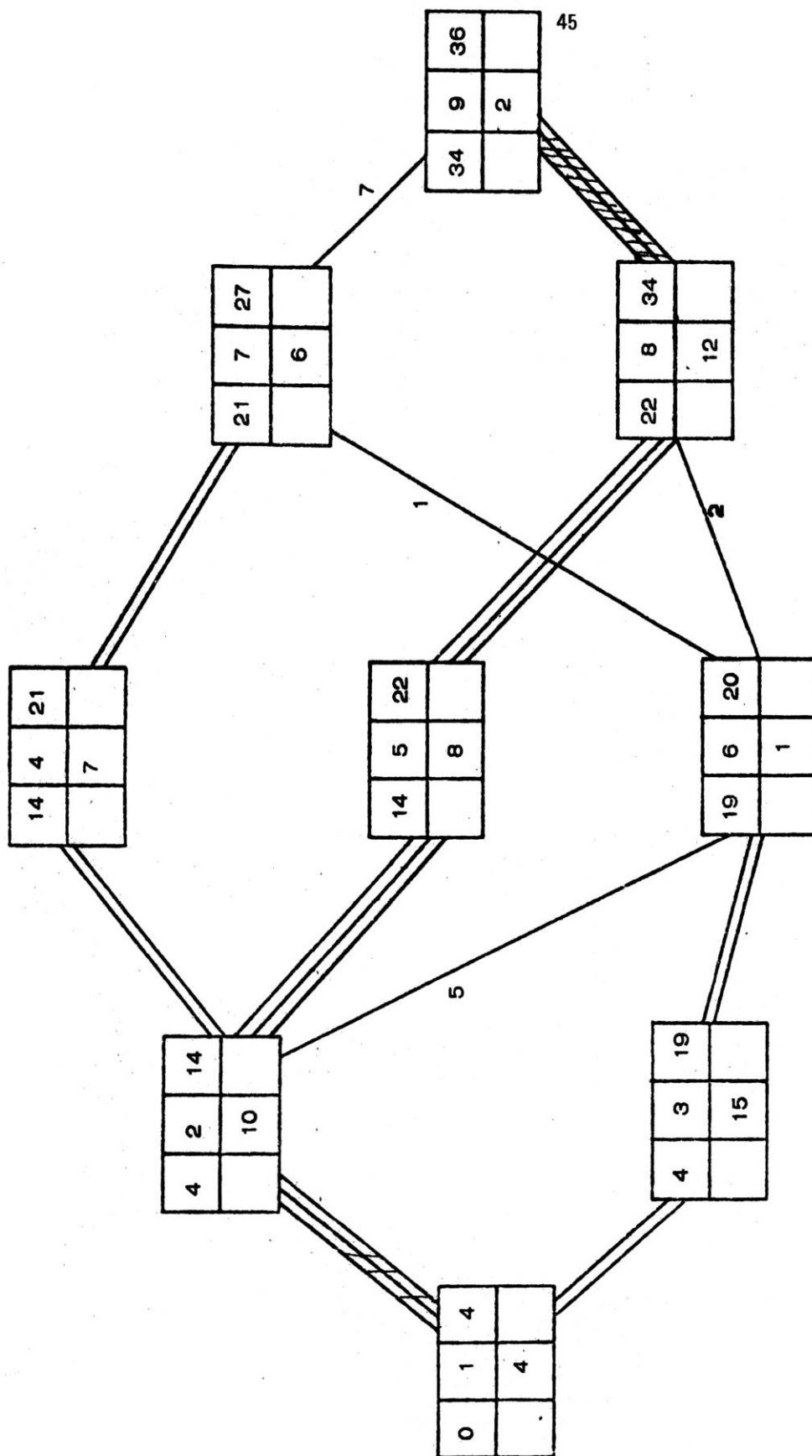


Figura 39

Tiempo duración : 36 semanas
Costo directo mínimo 1,295

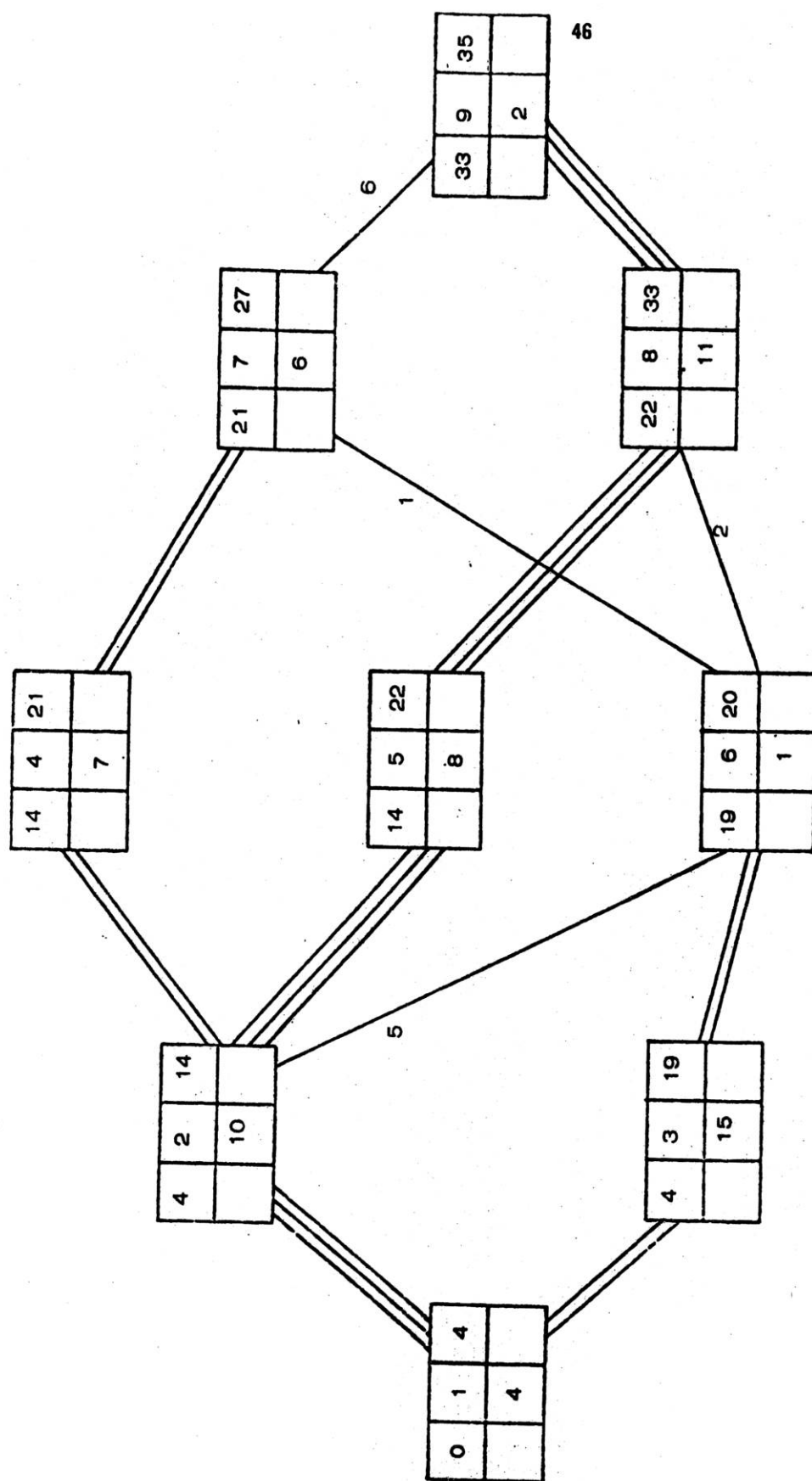
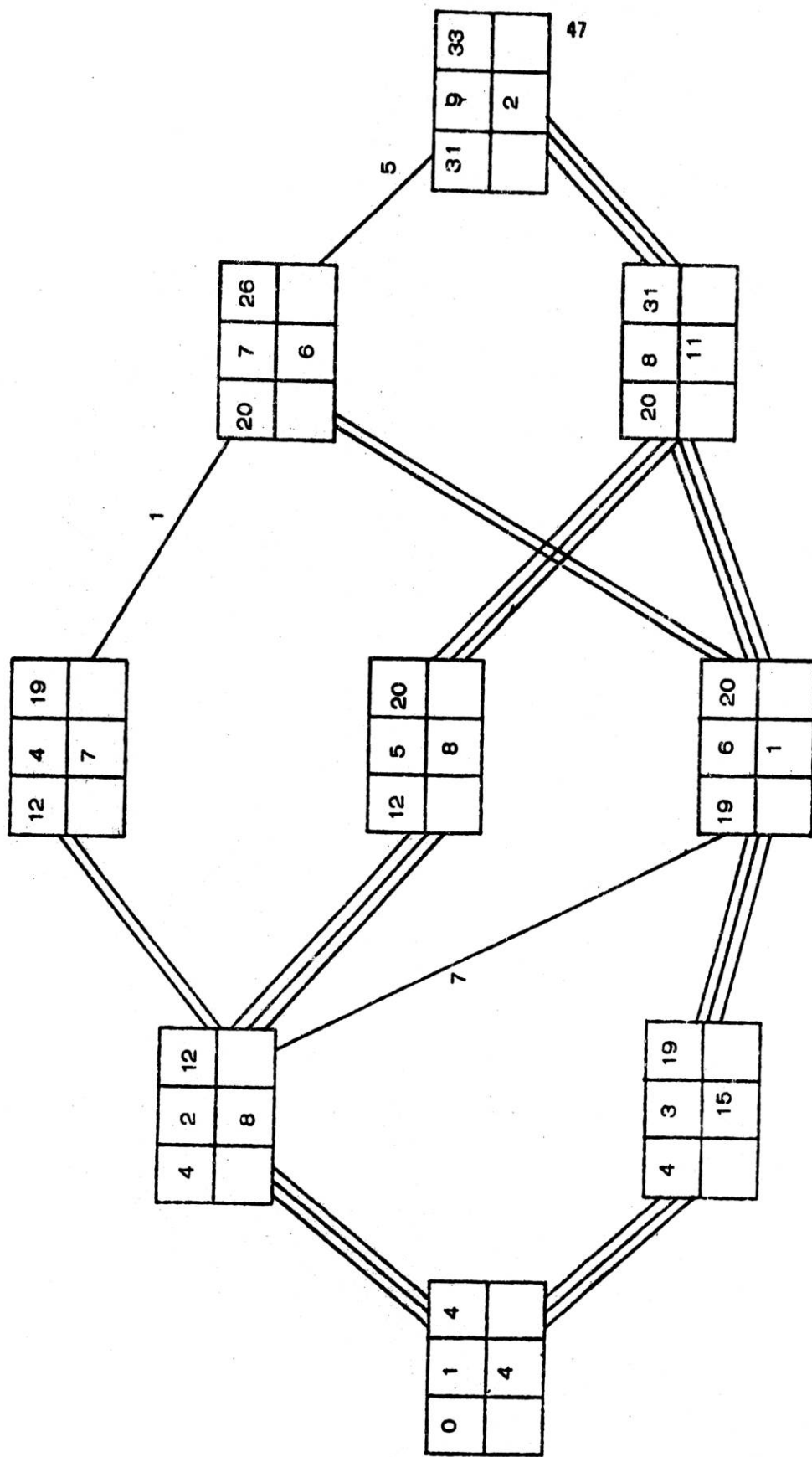


Figura 40

Tiempo duración: 35 semanas
 Costo directo mínimo: 1,300
 Modificación: Art. 8: 1 semana.



Tiempo duración: 33 semanas
 Costo: 1,320
 Modificación: 2 semanas.

Figura 41

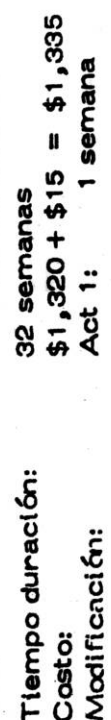
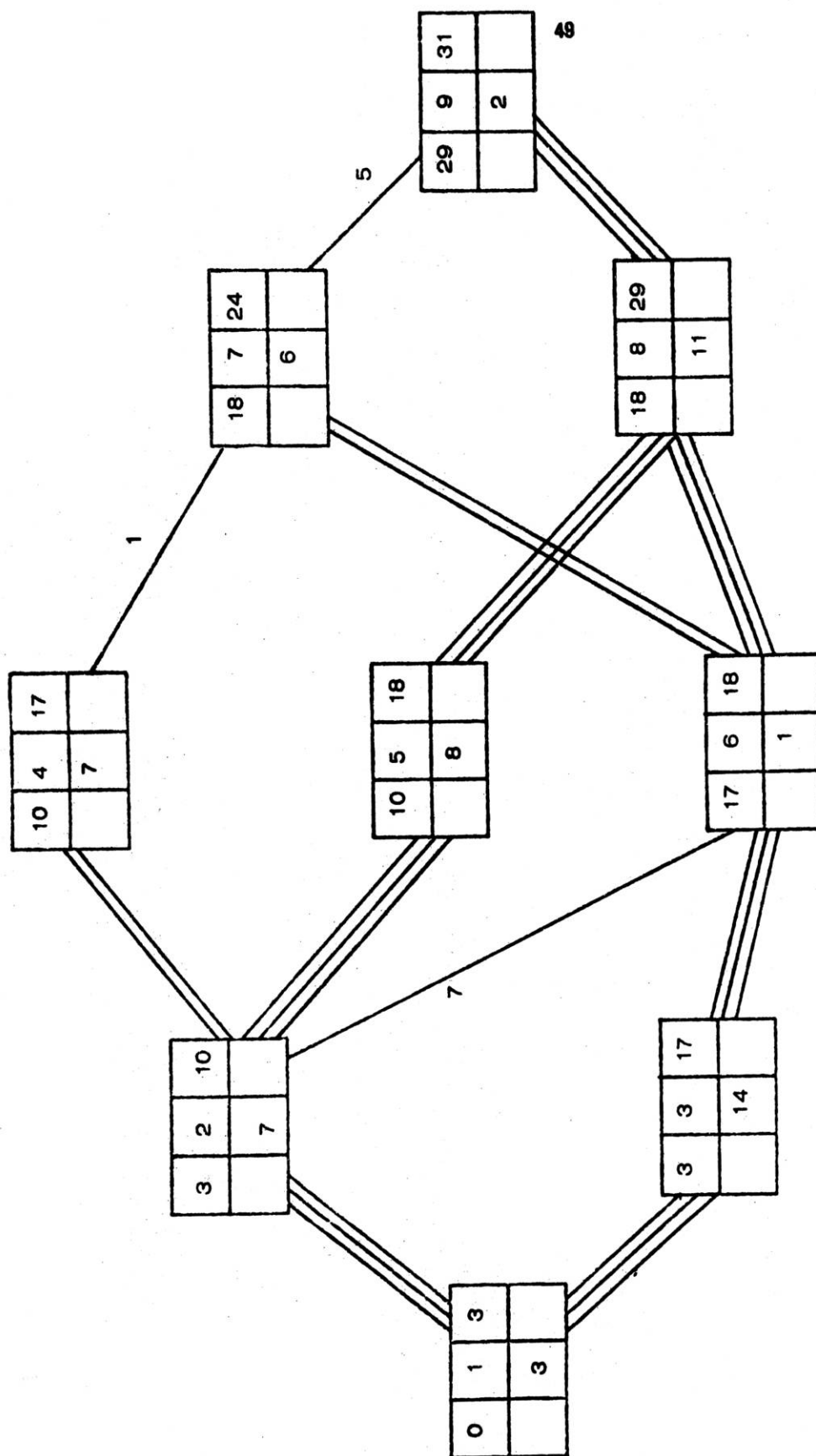


Figura 42



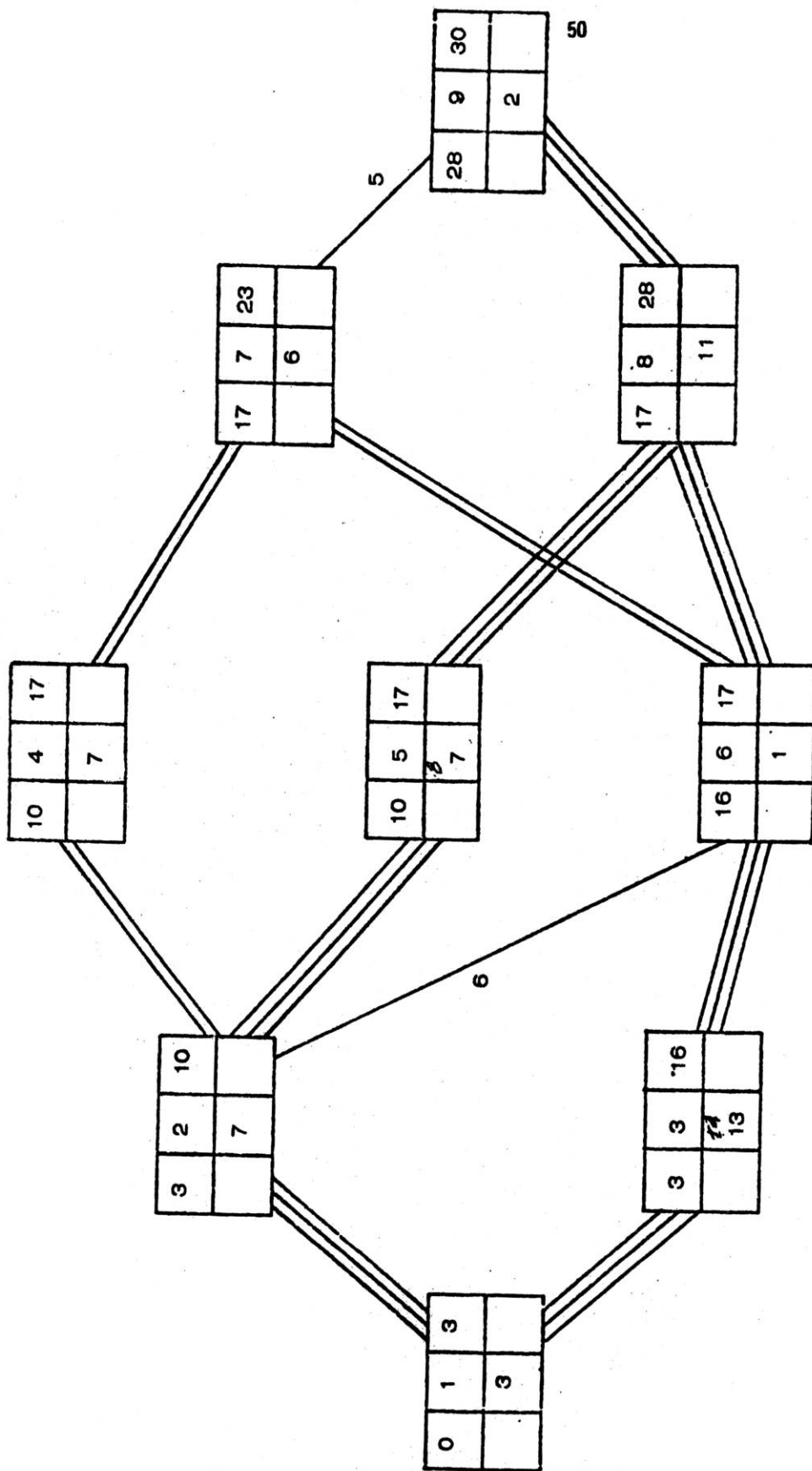
31 semanas
 $\$1,335 + (10 + 10) = \$1,335$
 Acts 2 y 3: 1 semana.

Figura 43.

Tiempo duración:
 Costo:
 Modificación:



2892826



Tiempo duración:
 Costo:
 Modificación:

30 semanas
 $\$1,355 + (10 + 15) = \$1,380$
 Acts 3 y 5: 1 semana

Figura 44

CURVA: Costo directo mnimo

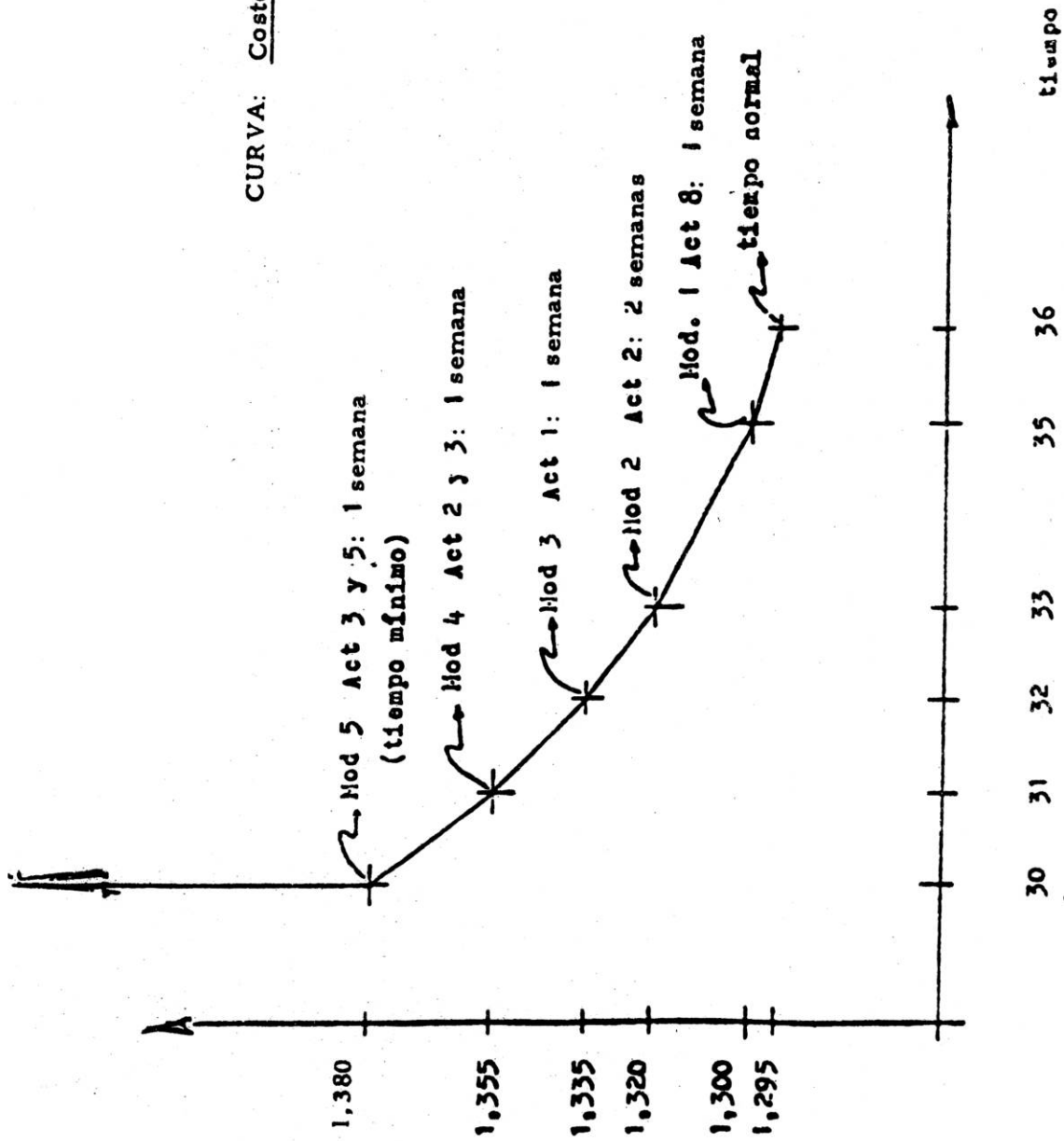


Figura 45

Para poder controlar los costos indirectos, habrá necesidad de predecirlos con base en experiencias anteriores. Una manera práctica de lograr lo anterior, lo constituye el diagrama conocido como del "punto de equilibrio" correspondiente a un determinado período de tiempo (fig 46). En él puede observarse el volumen mínimo que deberá hacerse en ese período, para "salir a mano", es decir, para no tener pérdidas y poder absorber los costos fijos existentes.

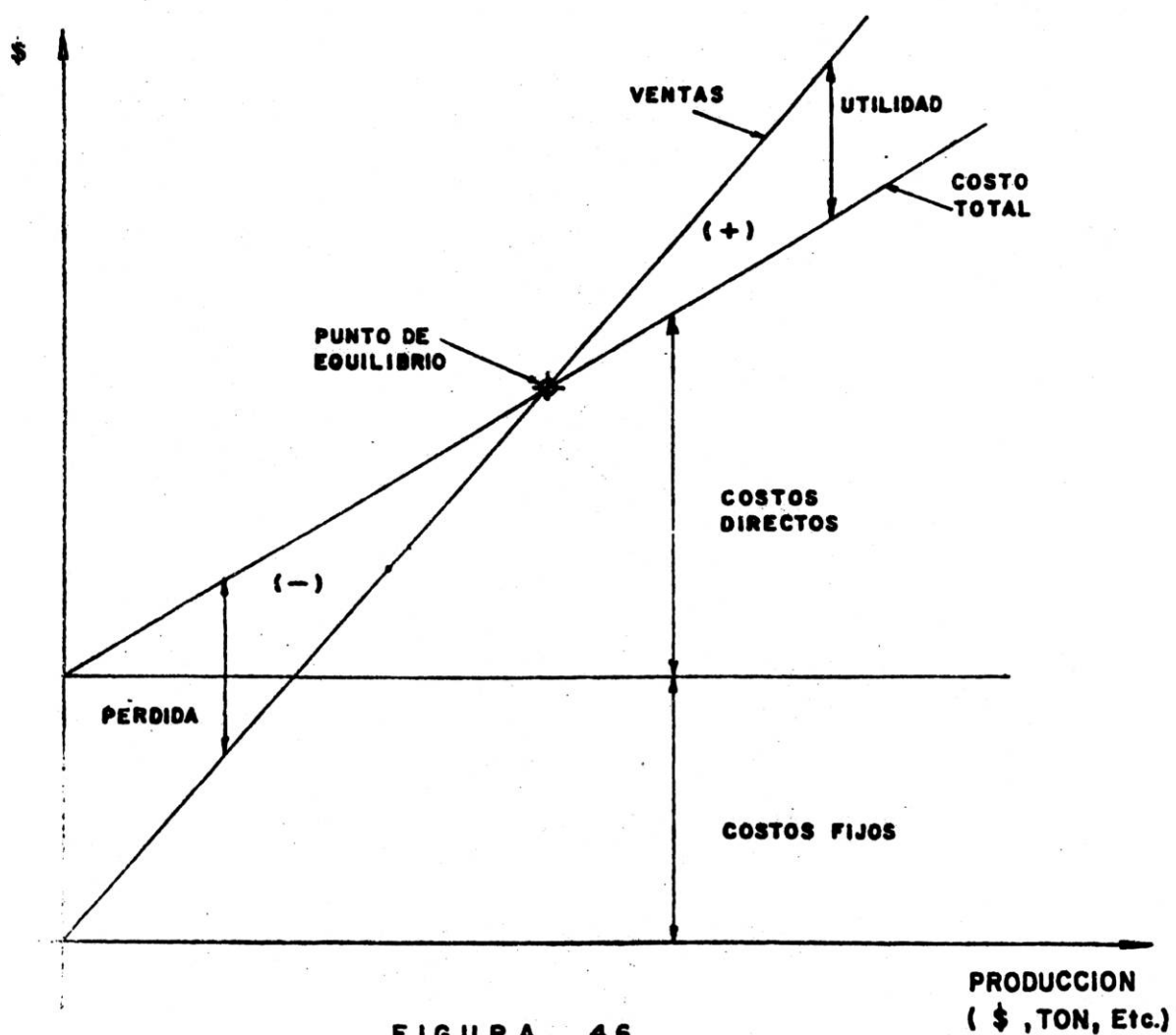


FIGURA 46

Los controles detectan las desviaciones respecto a los planes originales, mas no las causas que las originan. Las técnicas de análisis de tiempos y movimientos, constituyen una herramienta muy poderosa en la identificación de errores o vicios que normalmente son las causas que motivan esas diferencias, entre los resultados obtenidos y los rendimientos esperados.

Es por lo anterior, que se estudiarán en el siguiente capítulo dichas técnicas, como un complemento importante del método de la ruta crítica.

5. TÉCNICAS DE ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS APLICADAS A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

5.1 INTRODUCCIÓN

El motivo por el cual se decidió presentar este trabajo, fue la observación de que las técnicas de análisis de tiempos y movimientos han sido empleadas con bastante éxito en la industria manufacturera, y en cambio, su aplicación en la industria de la construcción ha sido casi ignorada por completo.

Estas técnicas consisten en analizar la forma de realizar las operaciones rutinarias para llevar a cabo una determinada tarea, con el objeto de encontrar una manera más fácil, económica y segura de llevarlas a cabo. Tratan de optimizar la efectividad de cada esfuerzo que se efectúa.

Toman como premisas de su aplicación:

- a) "Cada peso ahorrado incrementa la ganancia o disminuye la pérdida"
- b) "Siempre hay una mejor manera de hacer las cosas, una óptima solución que no estamos aplicando"

Ventajas resultantes de su aplicación:

- a) No se pasan por alto puntos importantes
- b) Al analizar cada actividad, aislándola de los problemas cotidianos, es posible descubrir una mejor forma de realizarla.

El análisis de tiempos y movimientos se ha usado poco en la construcción, a pesar de la gran importancia de esta actividad, por los siguientes argumentos:

- a) cada obra es diferente
- b) el personal no es de planta
- c) las actividades no son repetitivas
- d) las actividades duran poco

Además de lo anterior, existe la tendencia en el constructor de responsabilizar al "maestro de obra" de la ejecución, dirección y selección de procedimientos, atribuyéndole una "genial habilidad" organizadora y planificadora.

Por otra parte, si tenemos presente que un 75% a 85% de todas las actividades de una obra consisten en el manejo y movimiento de materiales, y que observadores de la implantación de estas técnicas sostienen que los ahorros derivados de estos estudios se estiman conservadoramente en 8 a 10 veces el costo de su aplicación, puede concluirse que es indispensable aplicar estas técnicas en la industria de la construcción.

5.2 EL ELEMENTO HUMANO

El éxito de la aplicación de las técnicas de análisis de tiempos y movimientos en la industria de la construcción, depende en gran parte de la colaboración que preste el personal, por lo que es aconsejable involucrarlo en su aplicación, motivarlo lo más posible y hacerlo partícipe en la toma de decisiones, incrementando con esto su interés en aumentar la productividad.

Por lo anterior, se comprende que es de sumo interés no desanimarlo, ni que pierda su iniciativa e imaginación.

Se recomienda, para lograr involucrar al personal en la aplicación de estas técnicas, las reuniones informales de

grupo, dirigidas por el encargado de estos estudios, acompañadas de exhibiciones de material fotográfico, procurando la participación espontánea y sincera de los asistentes, y tratando de explotar la máxima: "hágalo usted mismo". Los principales beneficios derivados de reuniones de este tipo, son:

- a) La creatividad e inventiva generadas a través de la emulación mutua, la aportación de la experiencia de los participantes y la crítica constructiva.
- b) La "psicología de la participación": la gente se considera como autora del nuevo método desarrollado, lo que conduce a una mayor cooperación y entusiasmo de los que intervendrán en la aplicación del nuevo plan de trabajo.

El principal obstáculo que se interpone en la realización de algún cambio, es el problema humano, ya que en general, la gente es renuente al cambio. La principal causa de esto es el temor a la pérdida del prestigio, al fracaso, etc... La mejor forma de superarlo es el buen conocimiento y entendimiento de las cosas.

Es común el uso ineficiente de la mano de obra, esto se debe a la mala o nula comunicación que se tiene con los obreros; las órdenes no son claras y específicas, ni tampoco se les indica la mejor manera de hacer las cosas.

Es necesario tener presente que cada persona entiende según su experiencia, memoria, preparación y conveniencia. Por ello, es recomendable que las órdenes sean escritas y lo más claras que sea posible. Además, es conveniente al asignar tareas a los obreros, tener presente ciertos principios que gobiernan el comportamiento humano para condiciones de trabajos físicos pesados, como es el caso de la construcción.

Estos principios pueden resumirse en las gráficas de las figuras siguientes:

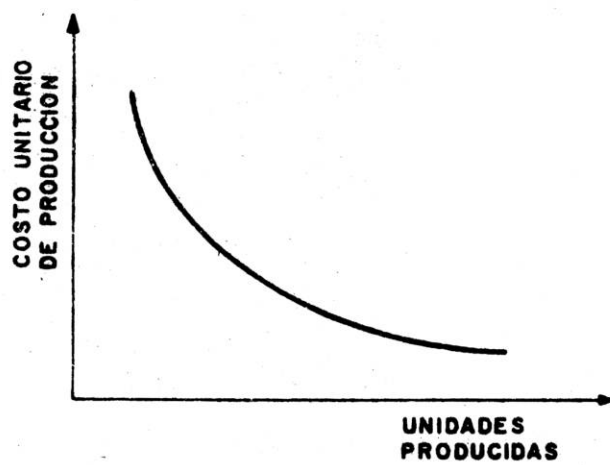
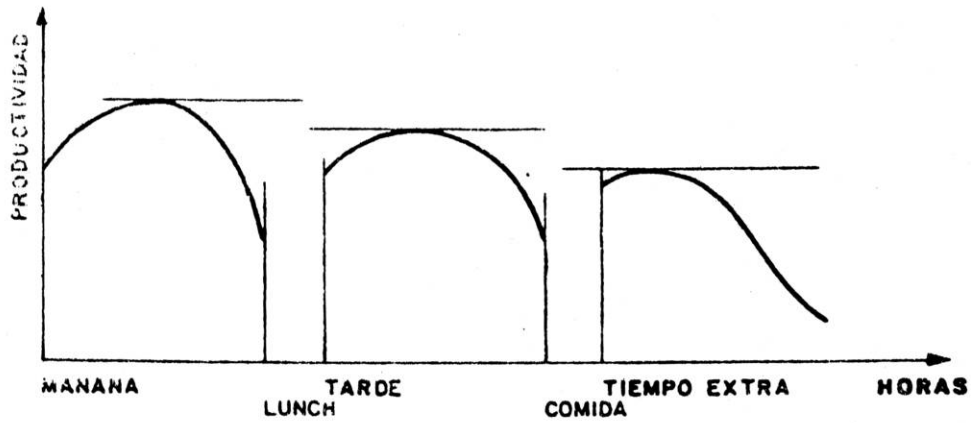
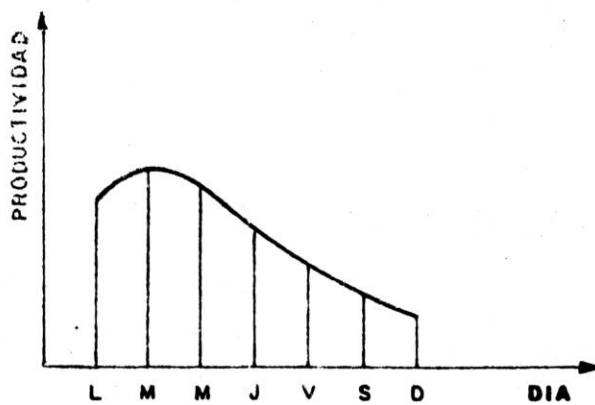


Figura 47

RENDIMIENTO DIARIO**RENDIMIENTO SEMANAL**

SI SE TRABAJA EL DOMINGO
UNAS CUANTAS HORAS, EN
EL INICIO DE LA SEMANA LA
PRODUCTIVIDAD BAJA.

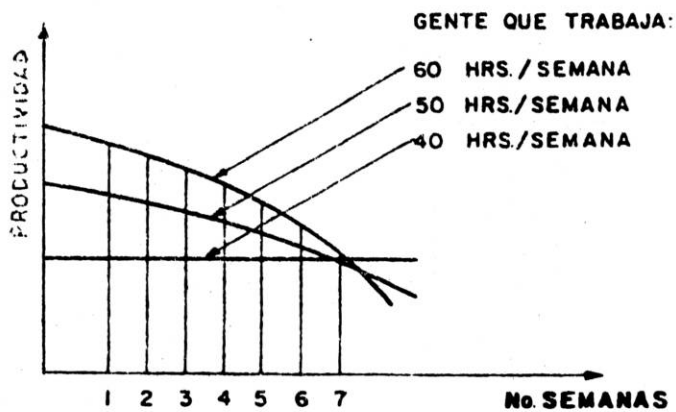
RENDIMIENTO BIMESTRAL

Figura 48

Por último, habrá también que tener presente que el tiempo de adaptación absoluta de turnos diurnos a nocturnos y viceversa, varía entre 2 a 25 días, dependiendo de características específicas de las personas.

En resumen, para tratar de descubrir una mejor manera de realizar las cosas, se necesita además de tener una mente abierta al cambio, tener un espíritu de creatividad y una posición contraria al conformismo, al tradicionalismo, a la timidez y a la suficiencia. Es necesario tener presente que no se deben cambiar las formas de realización de las cosas sólo por cambiarlas, sino por mejorarlas.

5.3 PASOS PARA PODER DESARROLLAR ESTAS TÉCNICAS

Registro de cómo se lleva a cabo el ciclo que se está estudiando, enmarcado dentro de las condiciones generales de la obra. Este registro se puede realizar mediante:

5.3.1 Observación visual

5.3.2 Estudios con cronómetro

VENTAJAS:

Los más baratos y más rápidos de realizar en el campo. Útiles cuando es uno o muy pocos los elementos observados.

LIMITACIONES:

- a) Siempre existe un error acumulativo cada vez que el cronómetro se para, se lee y se vuelve a echar a andar (el error es más importante mientras más cortas sean las duraciones de las actividades observadas)
- b) El observador decide al momento de tomar lecturas, cuándo empieza y cuándo termina una cierta

actividad, o en qué instante separar dos actividades o ciclos. Esto puede ser grave cuando el estudio lo realiza más de un observador, cosa que es necesario en obras grandes.

- c) Es bastante largo, lo que puede originar un cambio de las condiciones de la obra, y con ello, una falsedad en la información recabada; por ejemplo, para registrar una actividad que involucra 10 elementos (hombres, máquinas, etc...), se requerirá de la observación de:

10 elementos x 5 observaciones/elemento = 50 ciclos

Es probable que las condiciones hayan variado considerablemente entre la primera observación y la quinta.

- d) El estudio se limita a lo estrictamente observado, por lo que resulta incompleto, especialmente en lo relacionado con la interdependencia de las actividades.
- e) Debido al volumen de información que el observador debe ir anotando en muy poco tiempo, es usual que descuide su objetivo y la precisión en los datos tomados. Para contrarrestar esto, es recomendable dedicar un tiempo del observador exclusivamente a ver los trabajos sin tomar ninguna nota, para que norme el criterio de sus observaciones en función de las condiciones en las que realmente se está llevando a cabo el trabajo.
- f) Al darse cuenta los obreros de la realización de este estudio, adoptan una posición distinta a la normal. Esto es debido a que los trabajadores se sienten considerados como simples máquinas, a quienes se trata de explotar al máximo, consideran

que los estudios se hacen con el objeto de bajar el monto de los destajos que se les están pagando, etc...

5.3.3 Estudios con fotografías tomadas a intervalos constantes de tiempo (time-lapse photography)

VENTAJAS

- a) Relativamente barato: un rollo de 100 pies dura 3 horas 30 minutos, con fotos cada 3 segundos (40 fotos/pie).
- b) Capaz de tomar nota de varias actividades de un gran número de componentes a la vez.
- c) Capaz de tomar nota de las interrelaciones de los componentes.
- d) Es una colección de observaciones permanentes y de fácil comprensión.
- e) Los supervisores y maestros de obra pueden estudiar y mejorar su trabajo con la sola visualización de la película.
- f) Las fotografías pueden servir para fines de enseñanza, descripciones de algún problema o estudios de seguridad.
- g) Descubre muchos vicios o trabajos innecesarios que se hacen por rutina y pasan desapercibidos normalmente, o a los cuales no se les da la importancia que realmente tienen.
- h) Los datos observados son irrefutables: la gente en ocasiones no quiere cambiar sus procedimientos

tradicionales, alegando que los estudios no tienen validez por estar basados en observaciones equivocadas. Con este procedimiento aceptan los cambios al ver el estudio fotográfico, y en ocasiones sugieren ellos mismos mejoras importantes, y con ello se vuelven colaboradores del sistema.

- i) Archivo de experiencias obtenidas en distintas obras.

EQUIPO:

- a) Cámara de cine con solenoide, dispositivo para fijar la frecuencia de las fotografías (timer), fuente de energía y tripié.
- b) Proyector con contador de fotografías y velocidad de proyección regulable, para adelante y en reversa.
- c) Estudios con video-tape. Está en desarrollo el equipo para su aplicación a la construcción.

Es recomendable que no se re-use la cinta magnética, porque se pierden experiencias pasadas.

Tiene la ventaja sobre la fotografía de que la información tomada en el campo puede analizarse de inmediato, sin tener que esperar al revelado del material filmado. En resumen, podría asignársele a esta forma de recolección de datos, las mismas ventajas que las correspondientes a los estudios con time-lapse.

5.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA

Los sistemas de análisis gráficos constituyen en sí, un

método de registro y de comunicación. Deben contener datos representativos de lo que sucede en la obra y no hechos ocasionales.

Los más útiles y usados en construcción, son:

5.4.1 Balance de recursos

Es un conjunto de barras verticales que parten de un mismo eje horizontal, construidas a escala y expresadas en % del tiempo del ciclo. En cada barra se expresan las actividades que desarrolla un sólo elemento del grupo estudiado (máquina u hombre), incluyendo en ellas el tiempo improductivo u ocioso, por lo que la interrelación de cada uno de los recursos usados puede apreciarse al comparar las diversas barras a lo largo de una línea horizontal. De su observación, se advierte en muchos casos, algún cambio en la manera de realizar las cosas o de integrar más eficientemente una cuadrilla (es importante hacer notar que con este estudio no se puede analizar la eficiencia o rendimiento de los recursos usados).

Es importante tratar de tener siempre las cuadrillas balanceadas, porque al cambiar ciertas condiciones (entregas de material, nuevos o más elementos disponibles, más eficiencia individual de algunos trabajadores, etc...), éstas se pueden desbalancear.

Es necesario, al construir las barras, identificar el % de cada tipo de actividad o tiempo ocioso, con un determinado color o asciurado.

5.4.2 Diagrama de flujo de proceso

Es la representación en un croquis (acotado si es

posible, aunque sea en forma aproximada) del movimiento y ubicación de los materiales y equipo usados en el proceso.

5.4.3 Carta de procesamiento

Es la relación de trabajos que integran un ciclo de trabajo.

A la descripción de cada uno de los trabajos relacionados, deberá agregársele el tiempo que toma en llevarse a cabo, el % del tiempo del ciclo que le corresponde, y el símbolo que lo identifica como una actividad de transporte, operación, inspección, retardo o almacenamiento, según la tabla que aparece a continuación, propuesta por la ASME (American Society of Mechanical Engineers)

Símbolos usados	Nombre
○ -----	operación
➡ -----	transporte
□ -----	inspección
D -----	retardos
▽ -----	almacenamiento

Para ilustrar los métodos gráficos de análisis de información, se reproducen los ejemplos que sugiere H W Parker en la publicación que aparece al final de estas notas como referencia #2.

Figura 49 MÉTODO ORIGINAL

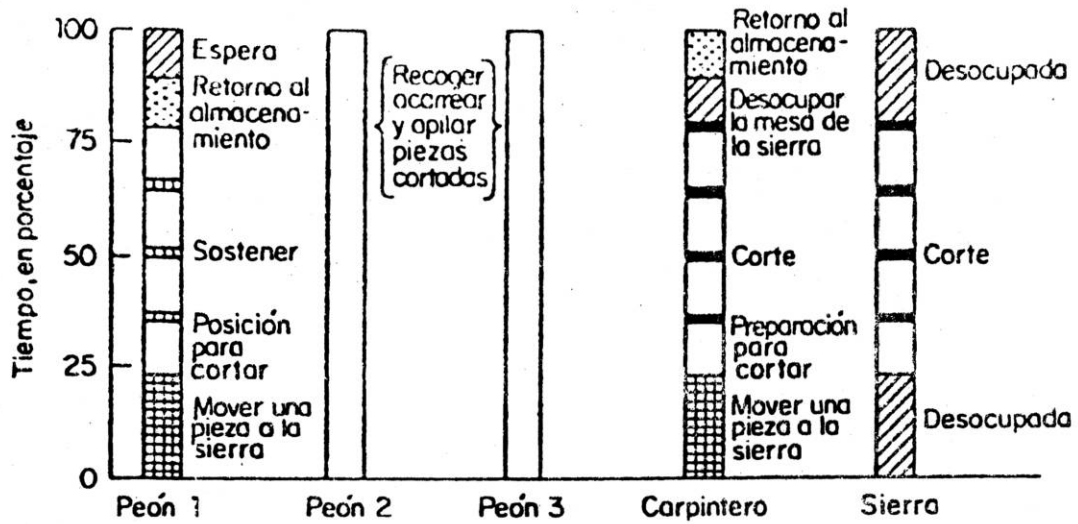


Diagrama de balance de recursos

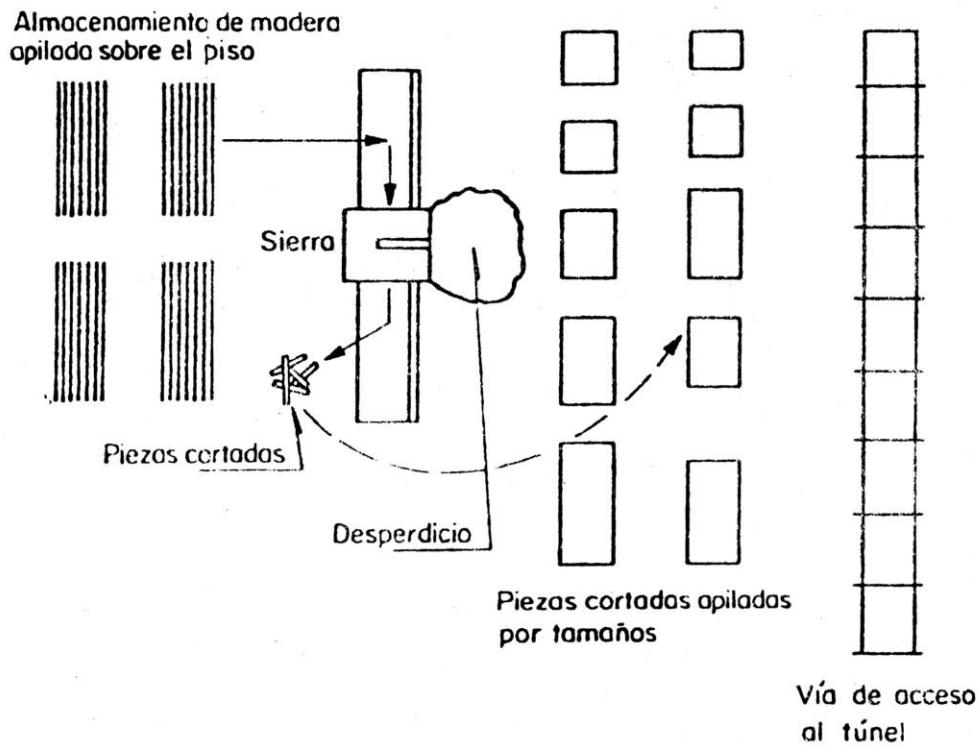


Diagrama de flujo

Figura 50 MÉTODO PROPUESTO (alternativa A)

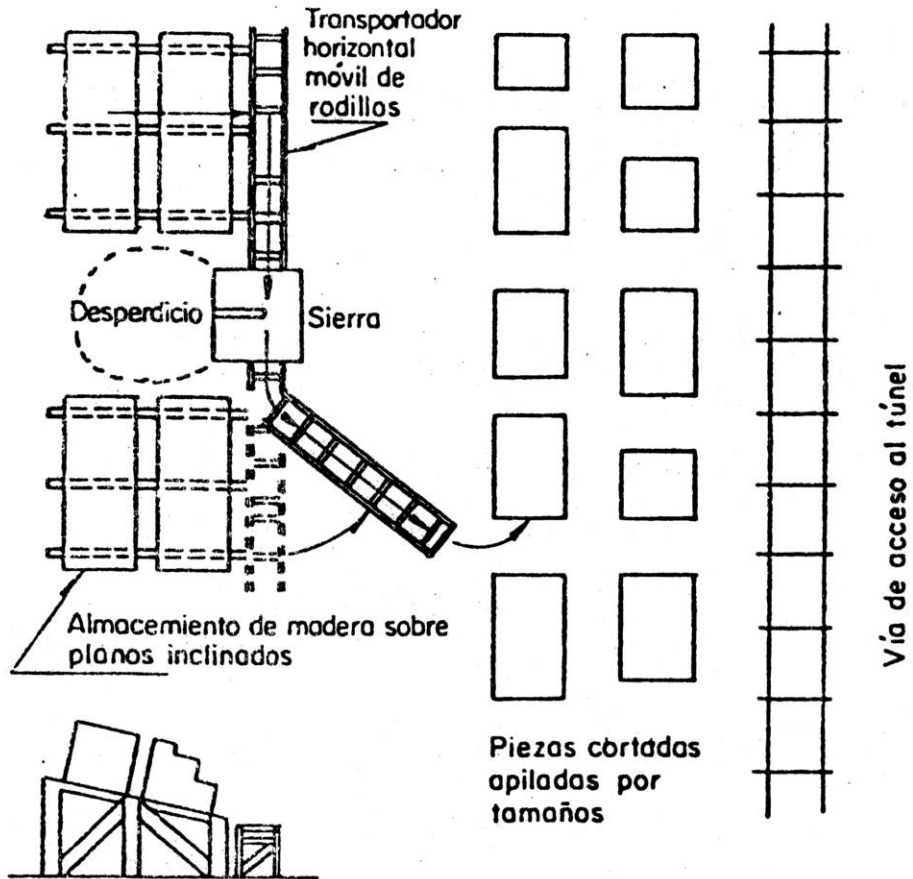


Diagrama de flujo

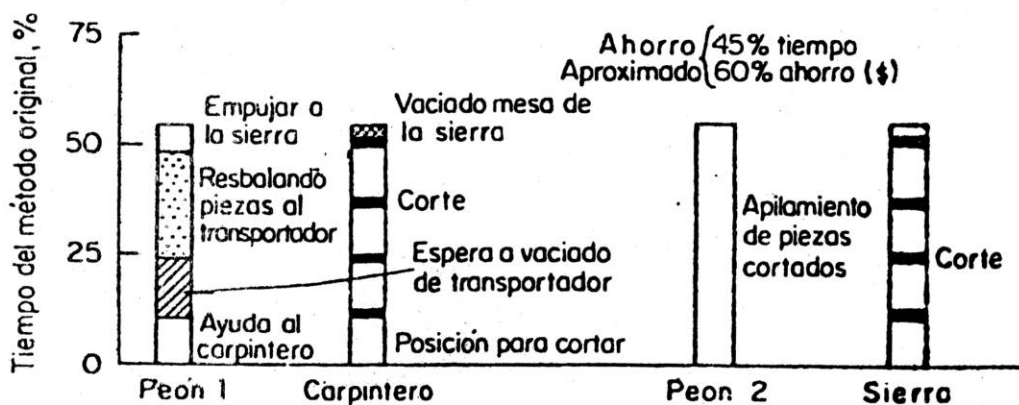
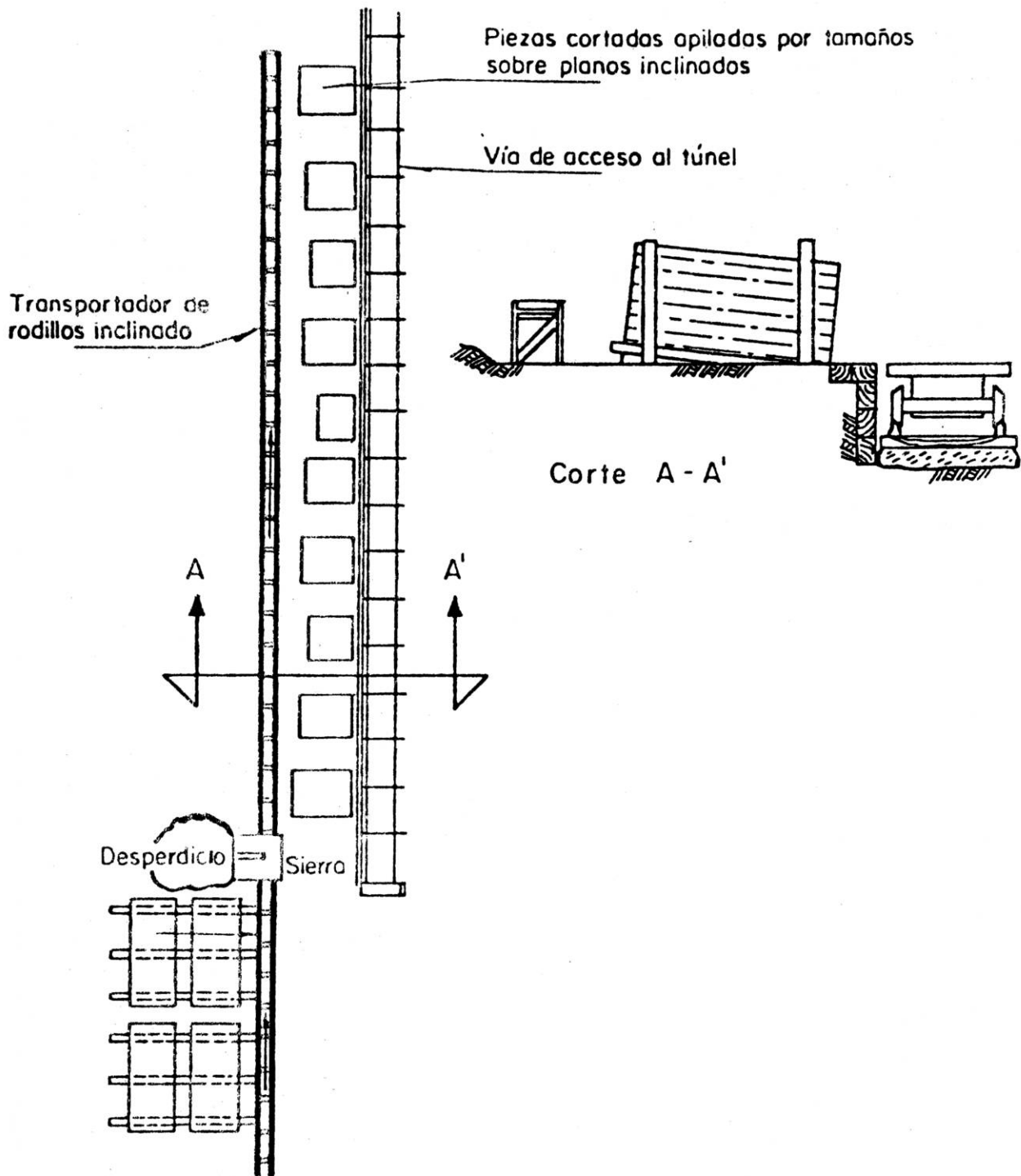


Diagrama de balance de recursos

Figura 51 MÉTODO PROPUESTO (alternativa B)



5.5 APROVECHAMIENTO" DE NUEVOS MÉTODOS

Es conveniente, para lograr mejores resultados en esta etapa, seguir las siguientes sugerencias:

- a) Hacer las seis preguntas básicas para cada detalle:
 - QUÉ se propone (objetivo)
 - POR QUÉ se hace de esa manera
 - CUÁNDO es el mejor momento de realizarla
 - DÓNDE es el mejor lugar para hacerla
 - CÓMO es la mejor manera de realizarla
 - QUIÉN es el más calificado para llevarla a cabo
- b) Evaluar el lugar donde se lleva a cabo la obra, los recursos usados, herramienta, equipo y materiales, el flujo de los materiales y las condiciones de seguridad.
- c) Discusiones en mesas redondas con gente que participe directamente en la ejecución de la obra.
- d) Solicitar ideas de gerentes, superintendentes, maestros de obra, etc...

5.6 DESARROLLO DE UN NUEVO MÉTODO

- a) Con un claro entendimiento del objetivo deseado, eliminar detalles no necesarios, reasignar recursos, simplificar procedimientos, etc..., para hacer las cosas más fáciles, rápidas y económicas.
- b) Escribir una versión detallada del nuevo método propuesto.
- c) Vender el nuevo método al patrón, superintendente, maestro, trabajadores, etc...

5.7 IMPLANTACIÓN DEL NUEVO MÉTODO

- a) Una vez aceptado, ponerlo en práctica de inmediato
- b) No dejar de poner atención en la ejecución del nuevo método para comprobar que se han aprendido hasta los pequeños detalles.
- c) Dar crédito y reconocimiento a quien se lo merezca.

5.8 MODELOS DINÁMICOS

Es posible también analizar actividades cíclicas de construcción, utilizando las herramientas que nos proporciona la ingeniería de sistemas, como puede ser la simulación de modelos dinámicos en los que se utilizan los principios de la Teoría de Colas, probabilidades, etc...

Como ejemplo interesante del empleo de estas técnicas, vale la pena mencionar el estudio que se realizó para la construcción del "Peachtree Center Plaza Hotel" cuya estructura de concreto, la más alta del mundo destinada a hotel, se levanta en Atlanta, Georgia, y que describe D W Halpin en su libro que aparece al final de estas notas como referencia #11.

5.9 CONCLUSIONES

Se piensa que las técnicas de análisis de tiempos y movimientos tienen un gran valor en el medio de la construcción, no sólo por su carácter formativo, sino también por los resultados que pueden obtenerse a través de su aplicación.

6. TÉCNICAS DE MUESTREO DE LA ACTIVIDAD REAL

Con objeto de juzgar la calidad de la utilización de la mano de obra y el equipo empleado en una construcción, se han desarrollado algunas técnicas de muestreo de las actividades realizadas en el campo, que conducen a una valorización de grupo (no individual).

Estas técnicas consisten fundamentalmente en la obtención de ciertos índices fáciles de conseguir, que ayudarán a identificar con oportunidad dónde existe ocio o mala utilización de los recursos de que dispone la obra. Se basan en principios estadísticos y probabilísticos.

6.1 ÍNDICES

Aunque existe una gran variedad de índices, los más usados en la construcción son:

6.1.1 Índice de campo

Se basa en la observación de elementos que sí trabajan y que no trabajan:

$$\text{Índice de campo} = \frac{\# \text{ gente trabajando}}{\# \text{ gente observada}} + 10$$

6.1.2 Índice de utilización

Se basa en la observación de elementos de tres tipos:

a) Que realizan trabajo efectivo (E):

ejemplo: excavación

b) Que realizan trabajo de contribución (C):

ejemplo: acarreo de tabique

- c) Que realizan trabajo inefectivo o no realizan trabajo (I):

ejemplo: demolición o estar ocioso

$$\text{Índice de utilización} = \frac{E + 1/4 C}{E + C + I}$$

6.2 RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones que se aconsejan en la realización de los muestreos de campo, sobresalen las siguientes:

- a) Deben usarse contadores mecánicos
- b) Debe tomarse en cuenta cada conteo a todo el personal (mínimo 90%) y de ser posible hacerse y reportarse por áreas de trabajo.
- c) La persona que realiza el conteo, no deberá hacer otro tipo de trabajo mientras desarrolla su labor específica.
- d) La cuenta deberá hacerse al instante de la observación, no importa que acabe de terminar una actividad o esté por iniciar otra.
- e) El contador deberá estar entrenado en la manera de hacer el conteo y los motivos por los que se hace.
- f) Los conteos deben hacerse media hora antes o después de haber iniciado o terminado las labores (incluye lunch).
- g) Ningún conteo debe desecharse.

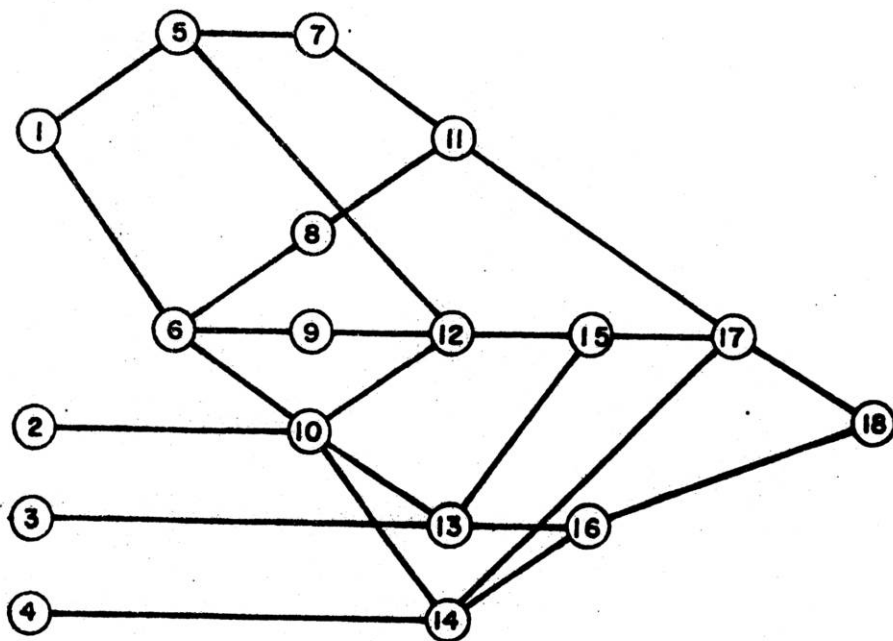
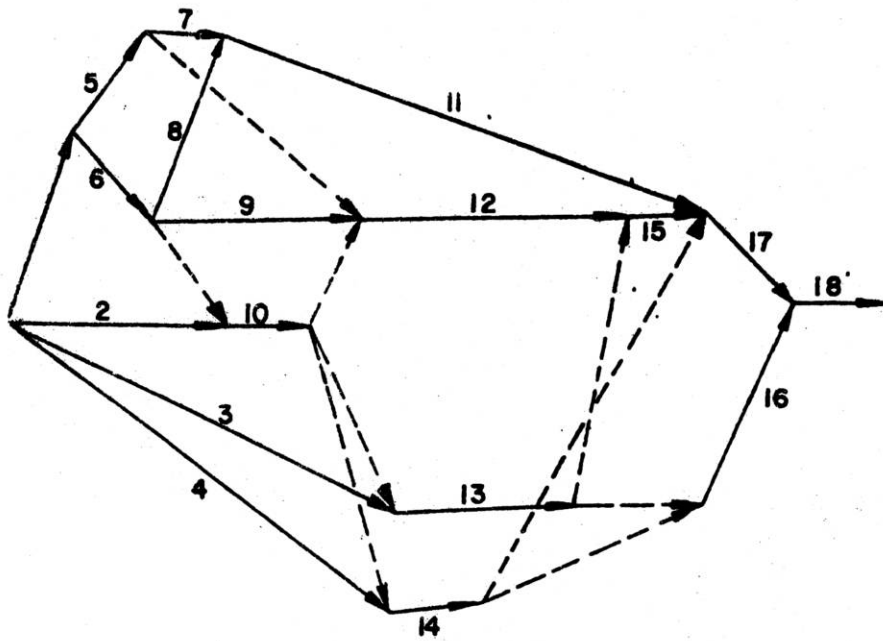
- h) Cada persona tiene la misma oportunidad de ser observada en cualquier momento, e independiente a las demás.
- i) Las observaciones no deben seguir ninguna secuencia específica.
- j) La característica básica del trabajo debe permanecer constante mientras se hacen las observaciones.

ANEXO

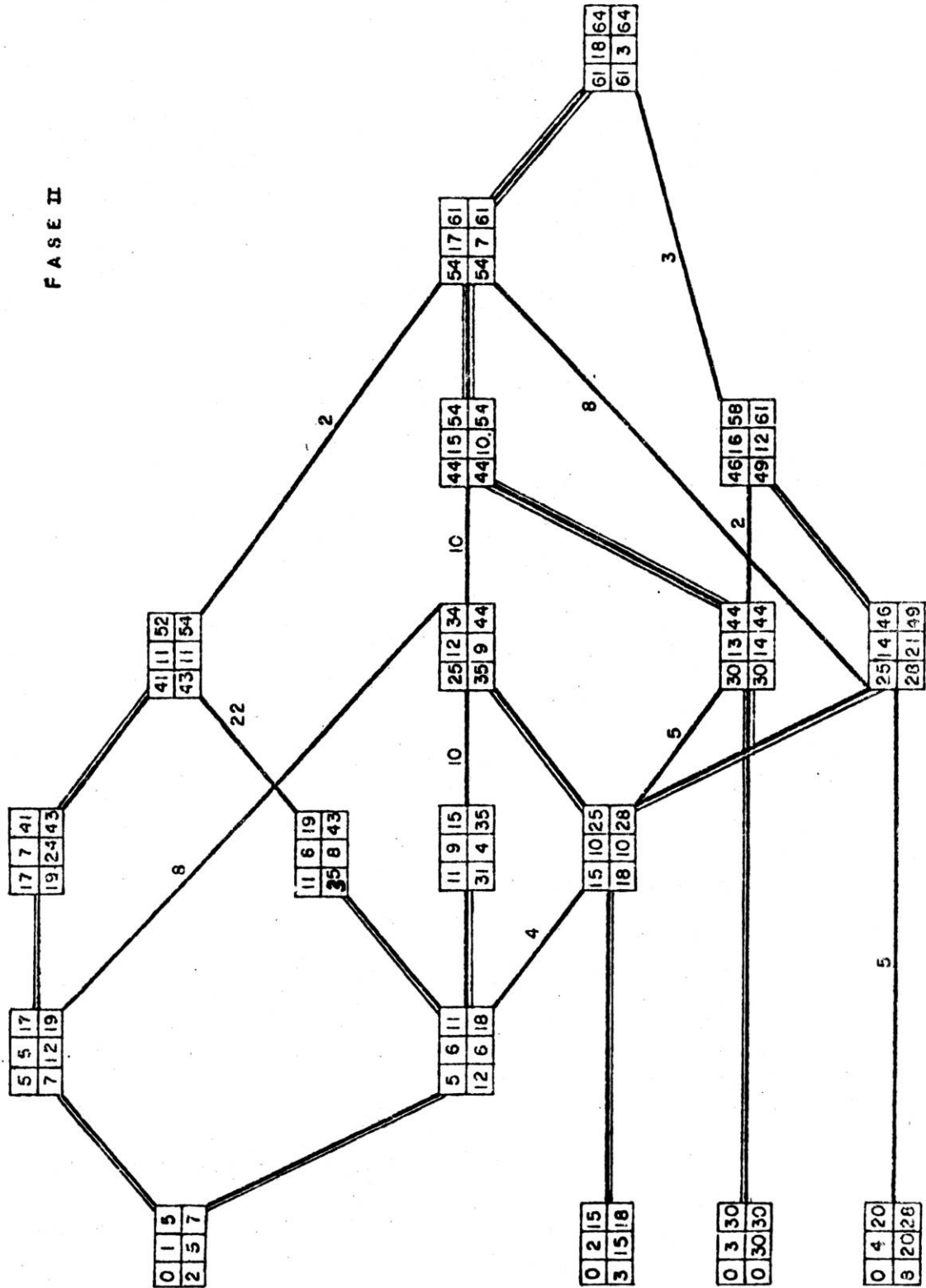
EJERCICIO

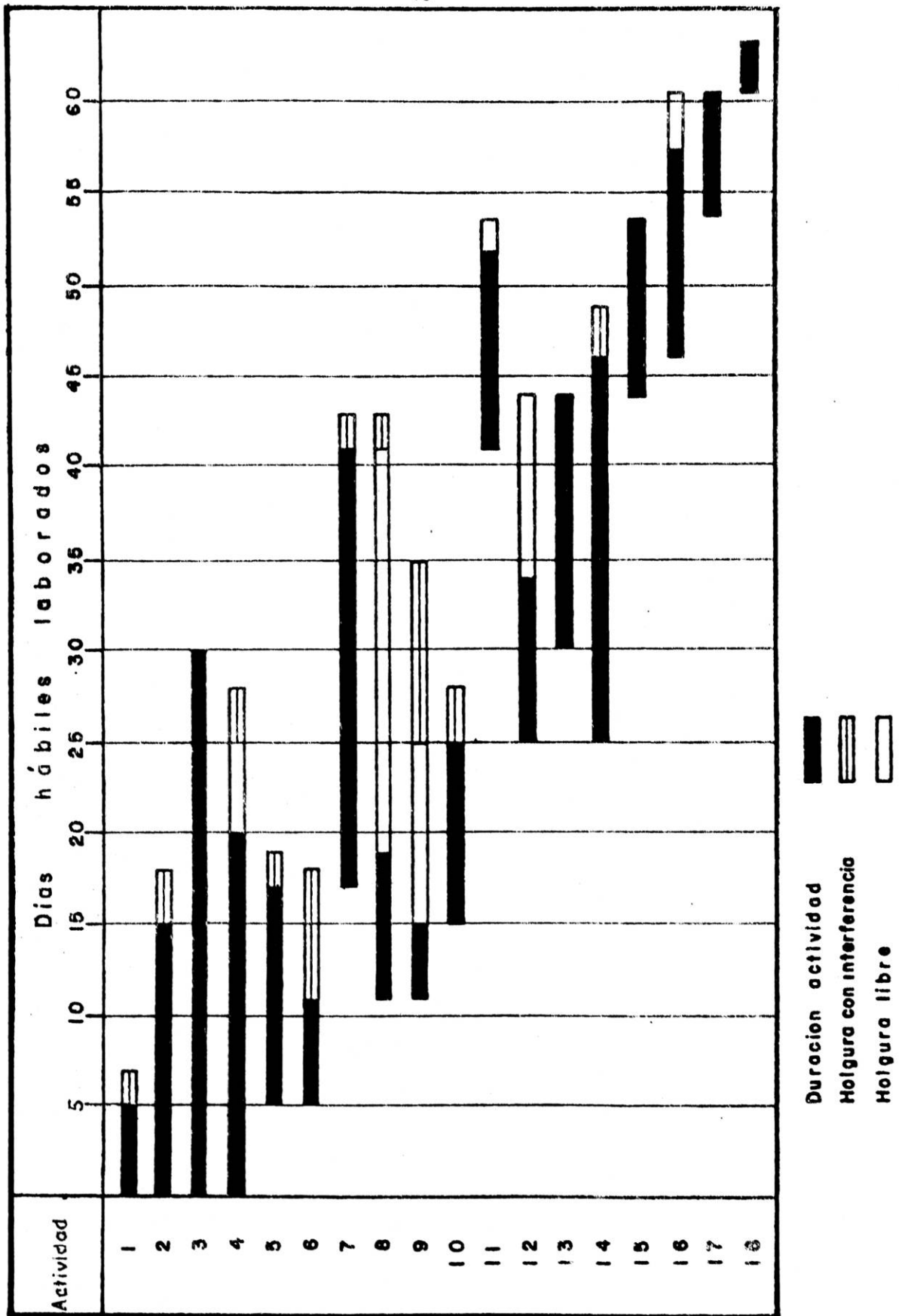
Este ejercicio tomado de la referencia 12, se presenta con el objeto de que sea resuelto en forma individual, y se comparen los resultados obtenidos con las soluciones que aparecen a continuación. De esta forma se podrá verificar si los conceptos correspondientes a las tres fases del método de la ruta crítica, se asimilaron debidamente.

Operación	Debe seguir a la operación(es)	t_n	$t_{mínimo}$ para t_n	\$	\$	$\Delta\$/\Delta t$
1	-	5	5	1,500	1,500	-
2	-	15	10	7,200	8,000	160
3	-	30	18	8,400	9,000	50
4	-	20	14	2,100	2,700	100
5	1	12	8	1,400	1,560	40
6	1	6	4	800	1,200	200
7	5	24	20	6,800	7,800	250
8	6	8	5	1,000	1,240	80
9	6	4	3	600	900	300
10	2-6	10	7	3,000	3,450	150
11	7-8	11	8	2,500	3,580	360
12	5-9-10	9	6	1,800	2,700	300
13	3-10	14	10	2,600	3,320	180
14	4-10	21	15	8,400	10,800	400
15	12-13	10	6	1,900	2,140	60
16	13-14	12	10	1,300	1,400	50
17	11-14-15	7	5	700	840	70
18	16-17	3	3	500	500	-

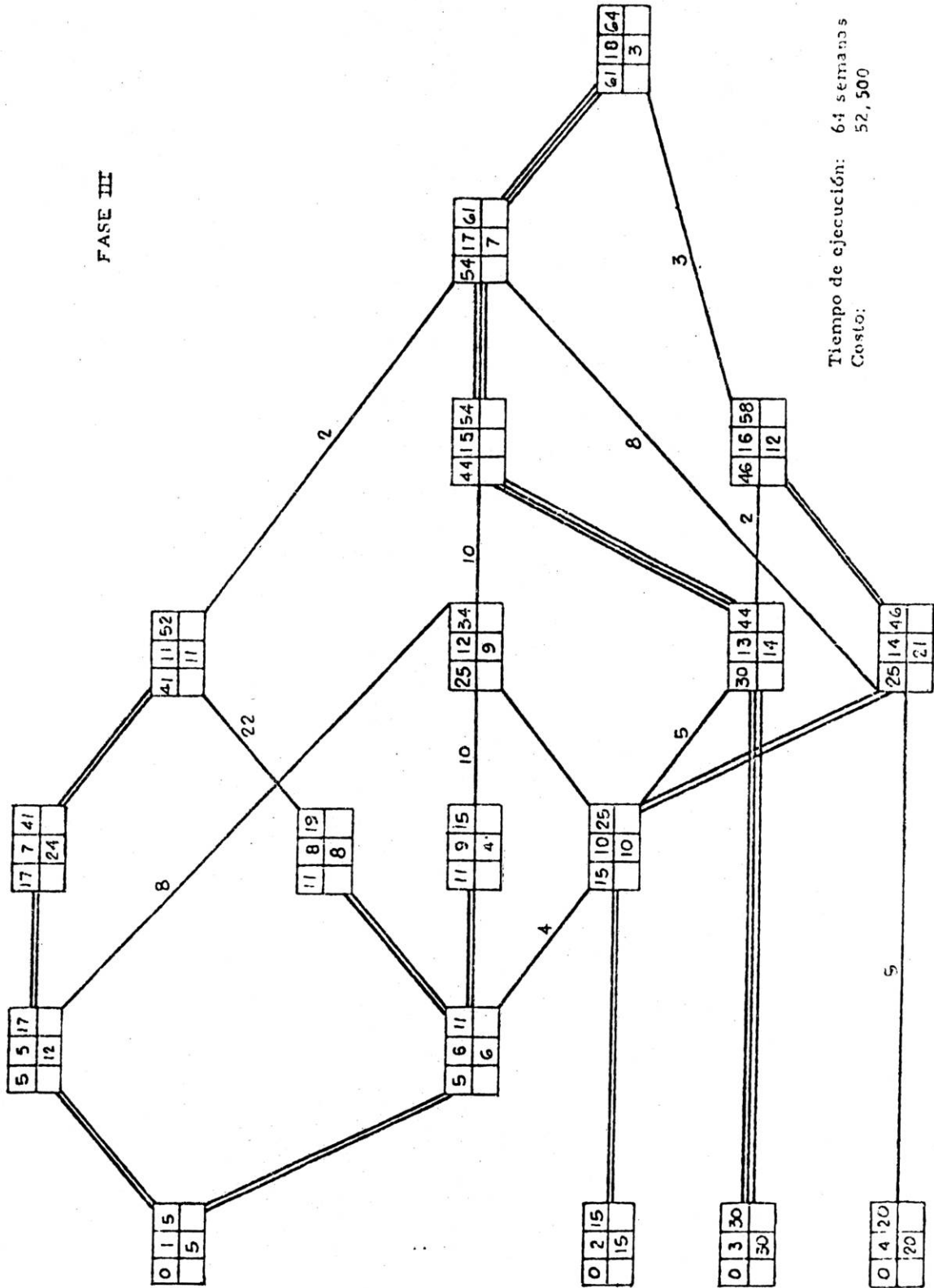
FASE I

FASE II

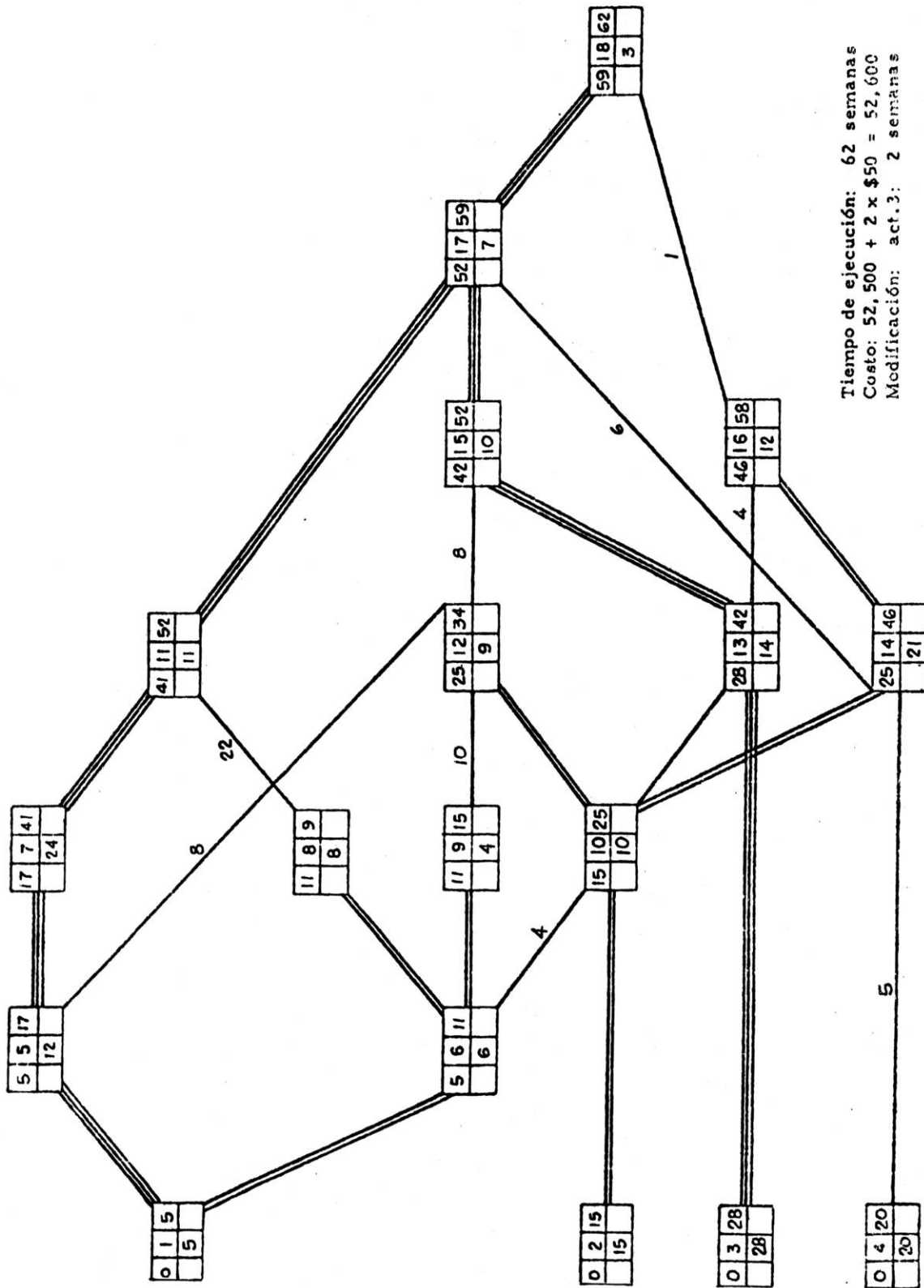




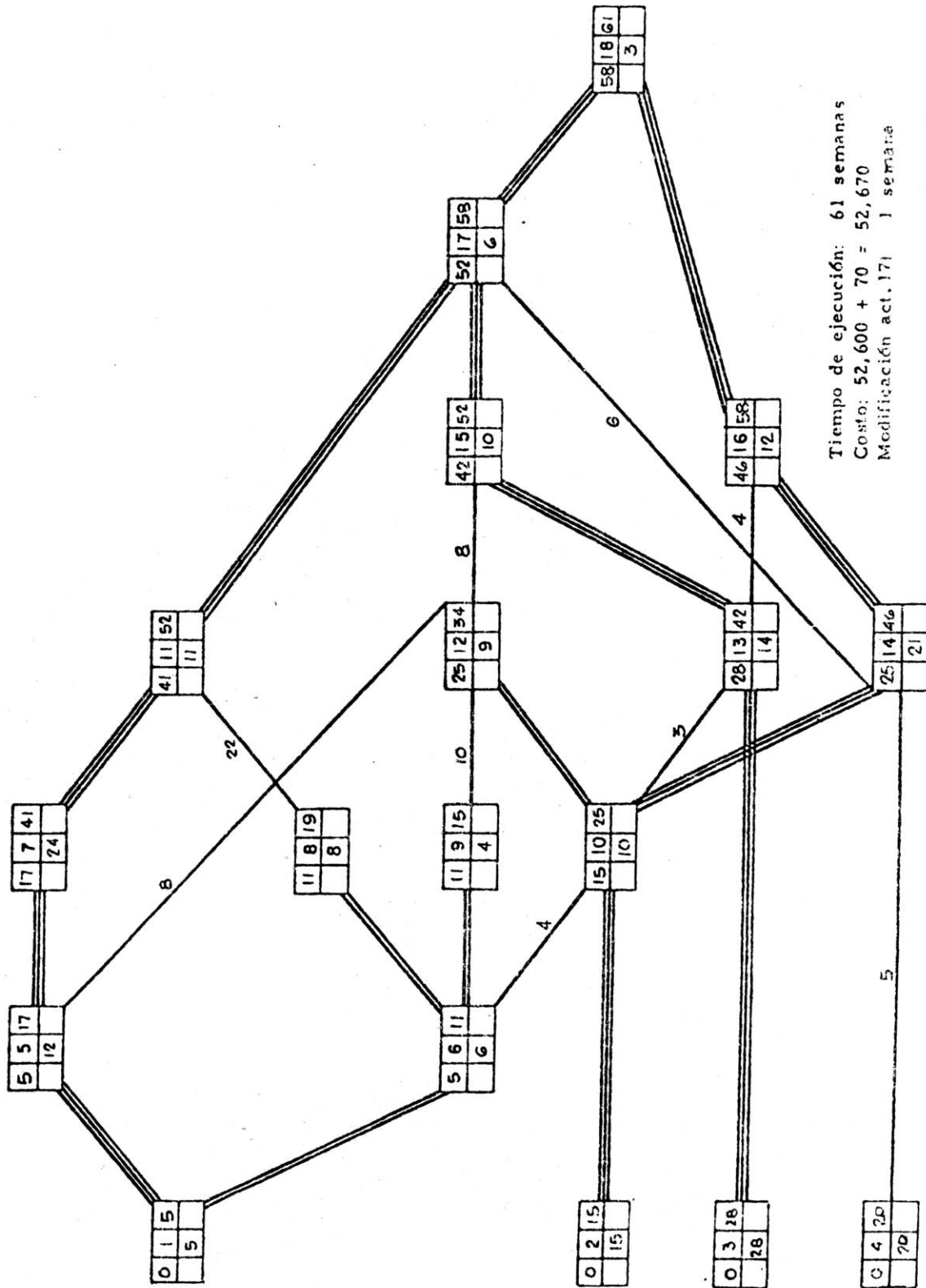
FASE III



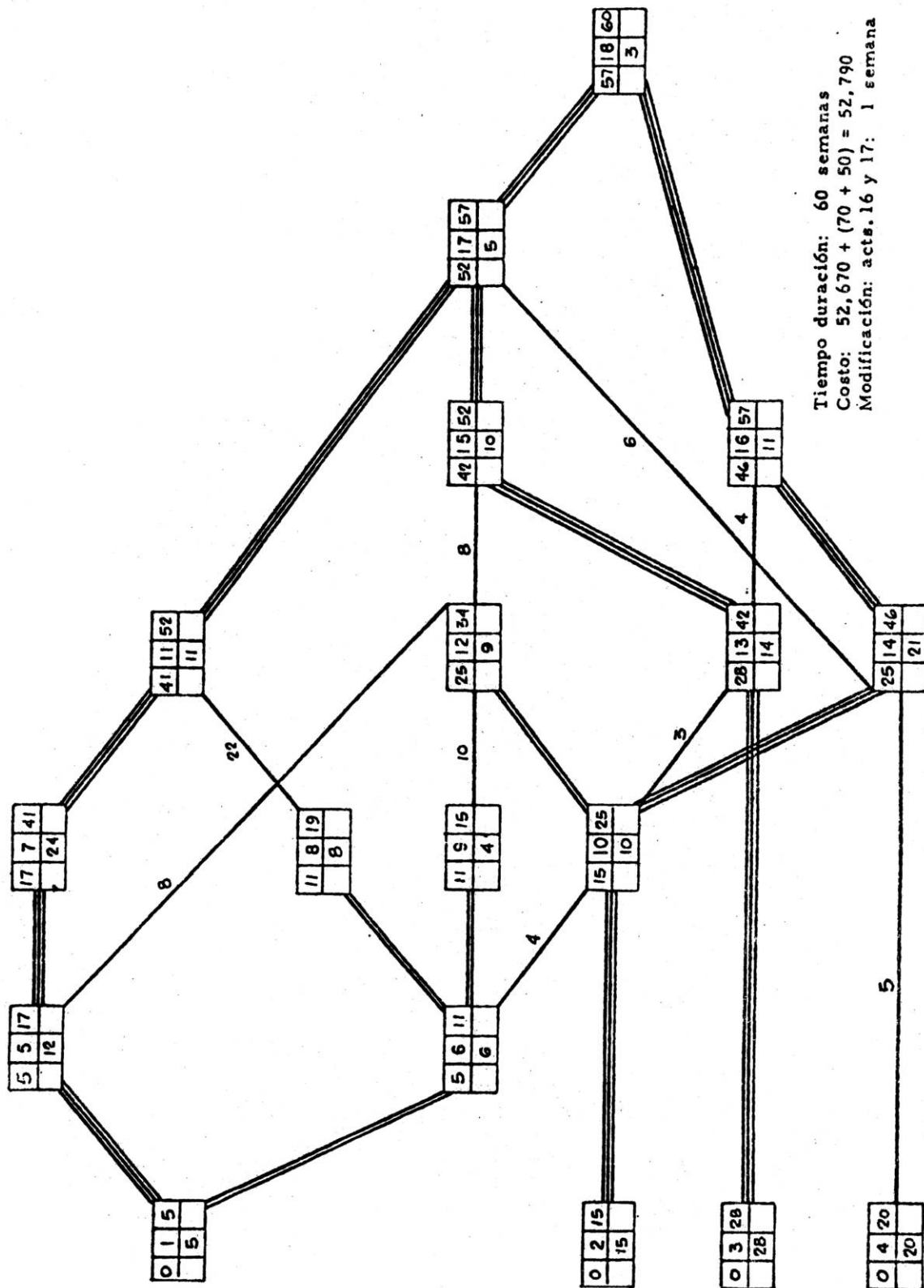
Tiempo de ejecución: 64 semanas
Costo: 52,500



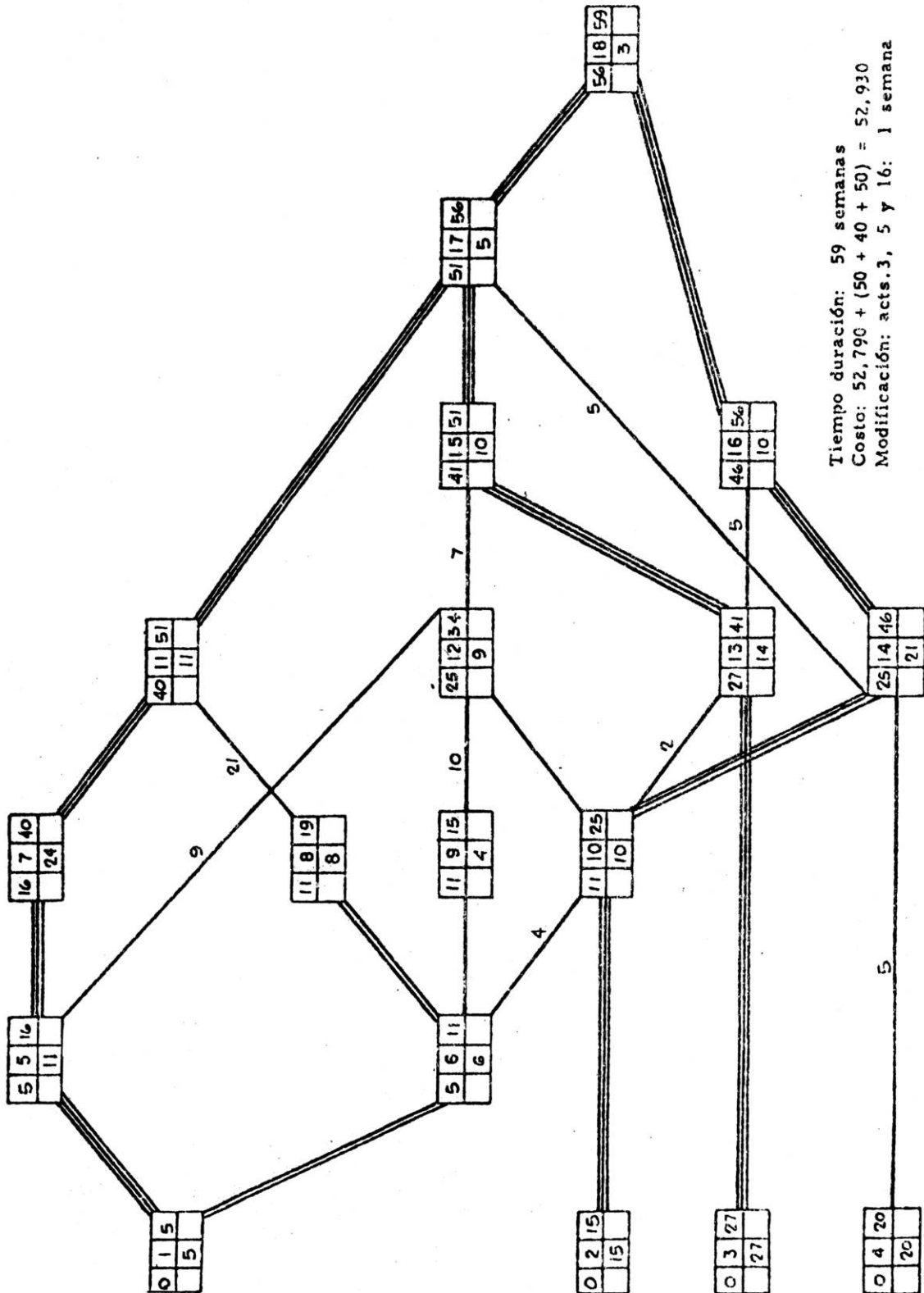
Tiempo de ejecución: 62 semanas
 Costo: $52,500 + 2 \times \$50 = 52,600$
 Modificación: act.3: 2 semanas

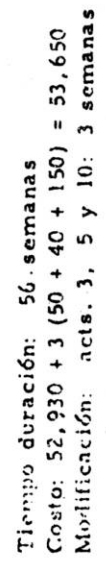


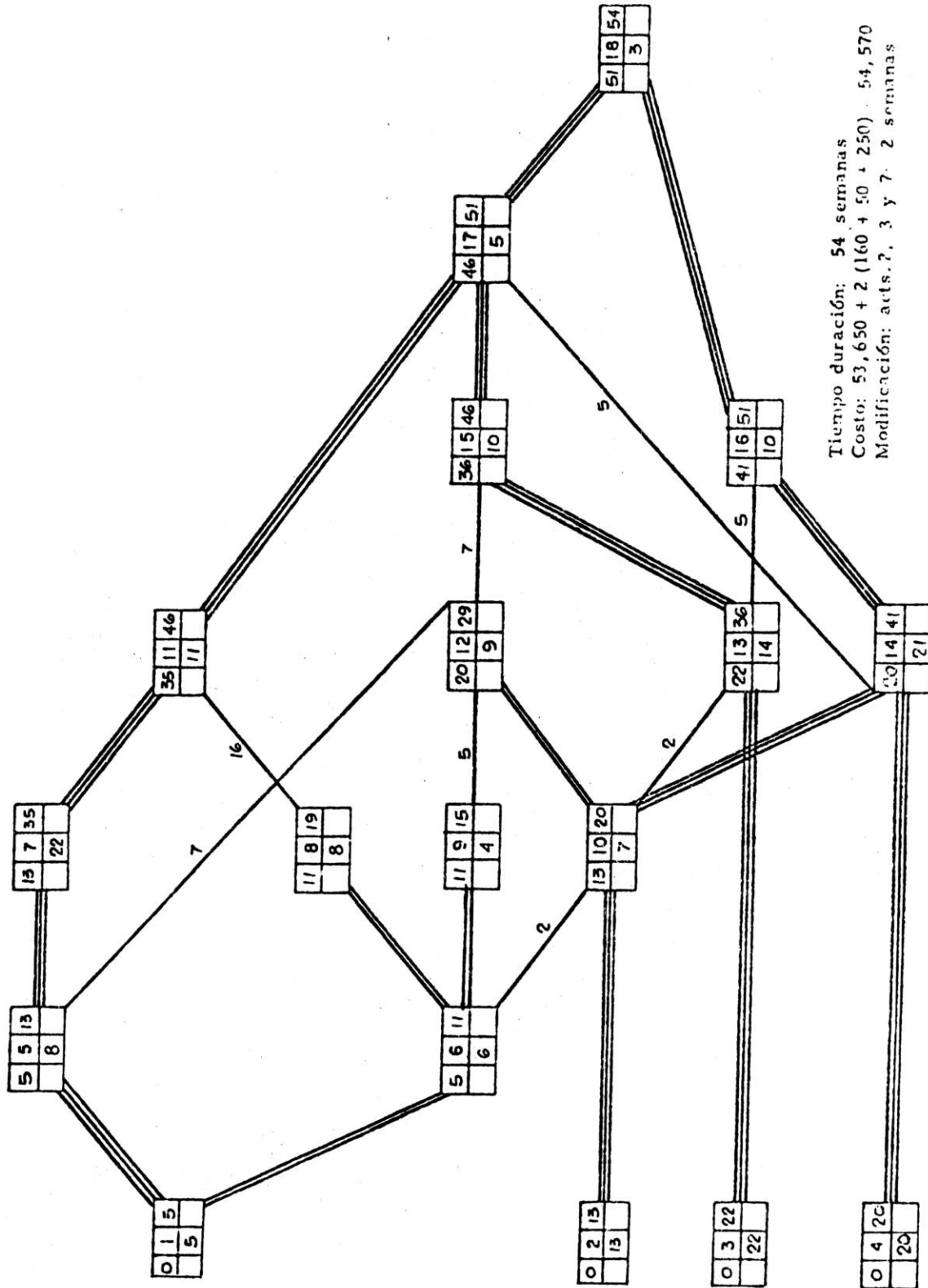
Tiempo de ejecución: 61 semanas
 Costo: 52,600 + 70 = 52,670
 Modificación act. 17: 1 semana



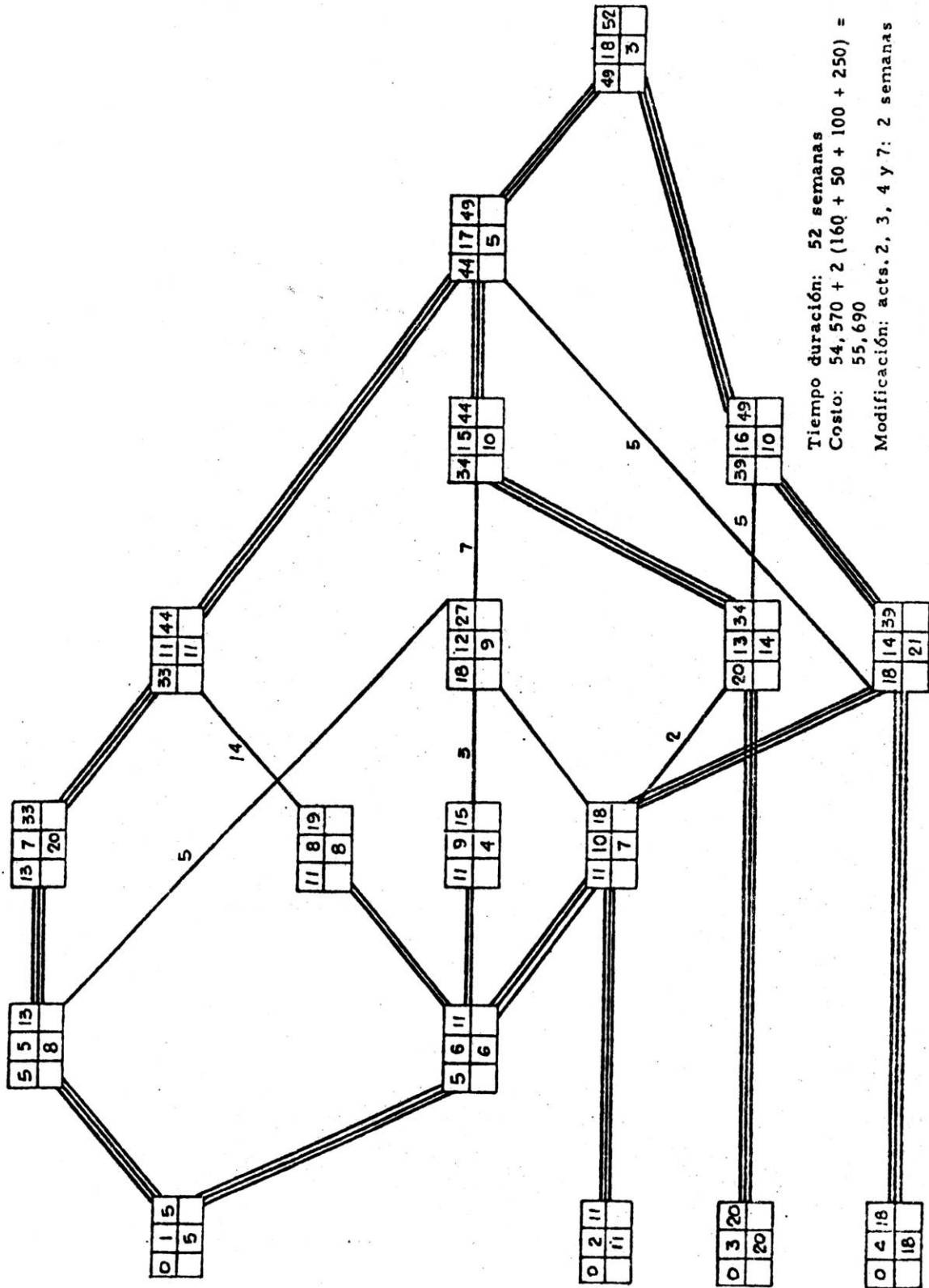
Tiempo duración: 60 semanas
 Costo: $52,670 + (70 + 50) = 52,790$
 Modificación: acta. 16 y 17: 1 semana

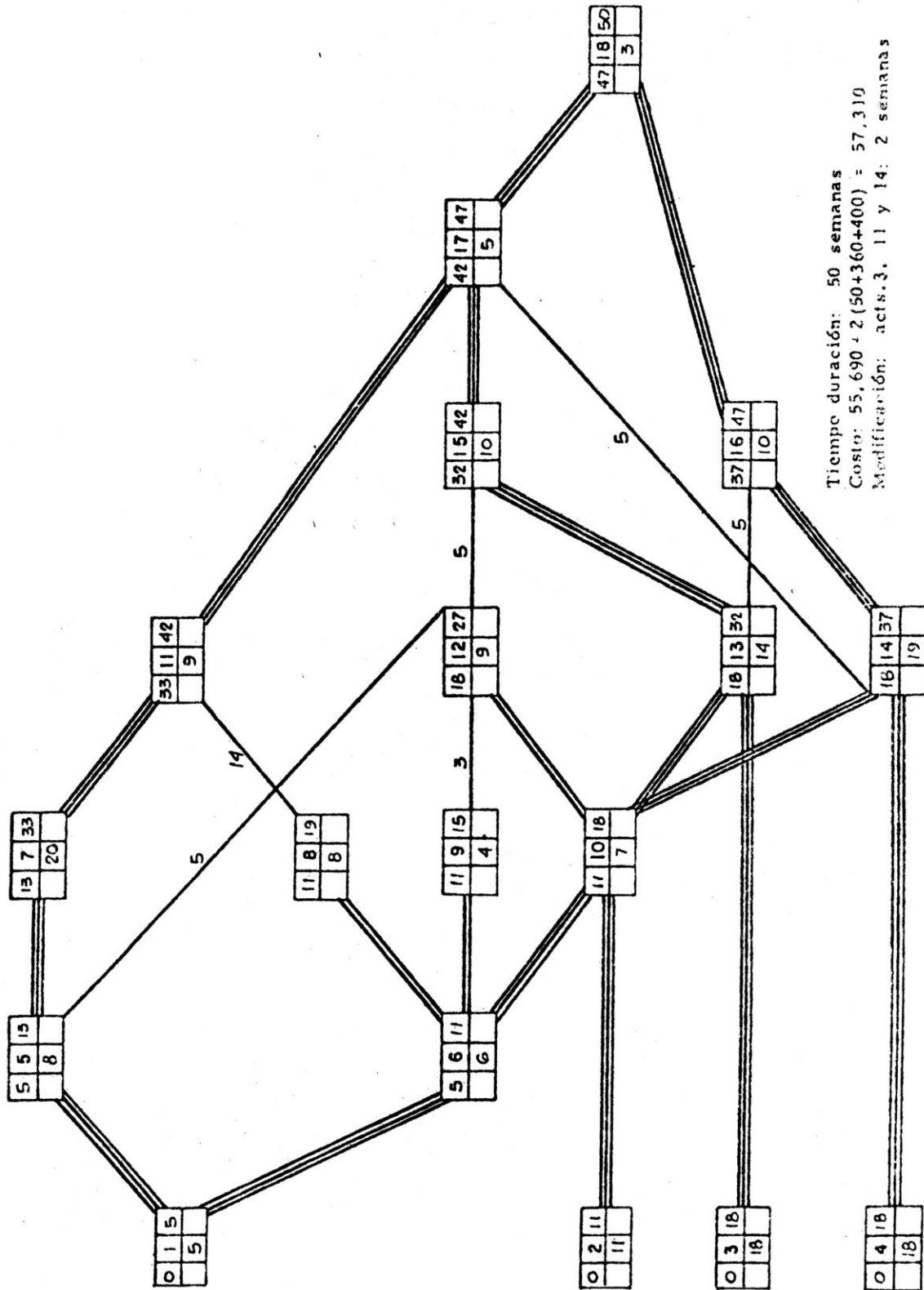




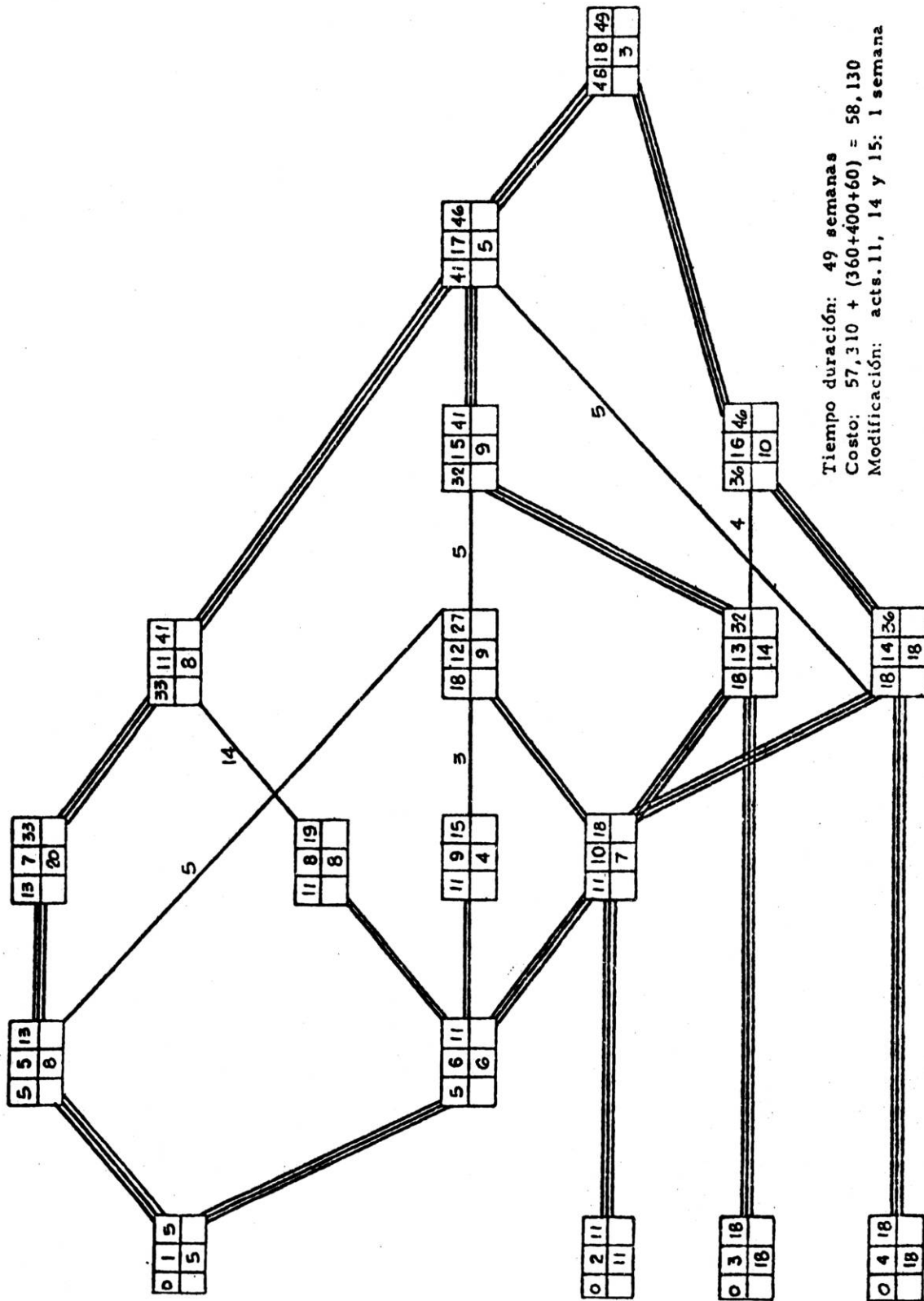


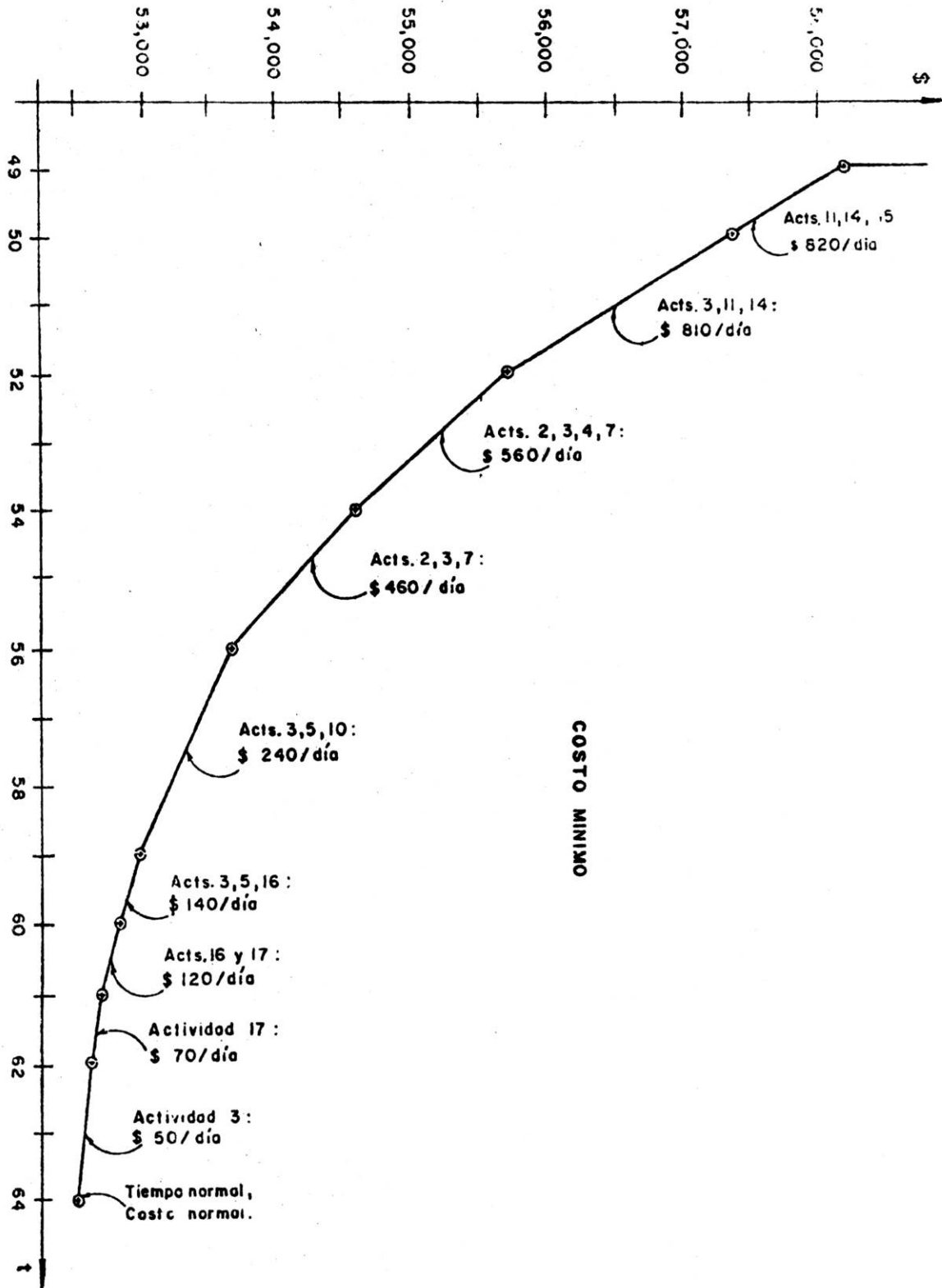
Tiempo duración: 54 semanas
 Costo: 53,650 + 2 (160 + 50 + 250) = 54,570
 Modificación: acts. 7, 3 y 7. 2 semanas





Tiempo duración: 50 semanas
 Costo: $55,690 + 2(50 + 360 + 400) = 57,310$
 Modificación: acts. 3, 11 y 14: 2 semanas





BIBLIOGRAFIA

1. Parker W. Henry, Oglesby H. Clarkson, Methods improvement for construction managers Mc Graw-Hill B.C. 1972
2. Parker W. Henry, Methods improvement techniques for construction and public works managers. Stanford University Department of Civil Engineering. Technical report N.51. 1965
3. Nave J. Henry. Construction personnel management. Journal of the Construction Division ASCE. Jan-1968
4. Mc Nally E Harold. Labor productivity in the construction industry. Journal of the Construction Division ASCE. Sep-67
5. Schader R. Charles. Motivation of construction craftsmen. Journal of the Construction Division ASCE. Sep-72
6. Reynaud B.C. The site as the workshop of the industry. Building technology and Management. Dec-71
7. Gillham M. John. A contractor's view of factors affecting site productivity. Building Technology and Management. April-1972
8. Sprinkle B. Howard. Analysis of time-lapse construction films. Journal of Construction Division ASCE. Sep-72
9. Fondahl W. John. Photographic analysis for construction operations. Journal of the Construction Division ASCE. May-60
10. Sakuma Akiyuki. Video time study. Industrial engineering. Feb-73
11. Halpin W. Daniel, R. W. Woodhead. Design of construction and process operation. J. Wiley and Sons, 1976

12. Fondahl, John W. A Non-Computer Approach to the Critical Path Method for the Construction Industry. Technical Report N°9. Stanford: The Construction Institute, Department of Civil Engineering, Stanford University, November 1961. (Second Edition, 1962)
13. Fondahl, John W. Methods for extending the range of non-computer CPM applications. Technical Report N°47, Department of Civil Engineering, Stanford University.
14. Mc Lean, Robert C. A basic CPM with introduction to several special applications. Technical Report N°44, Department of Civil Engineering, Stanford University.
15. Paulson, Boyd C., Jr. Man-Computer Concepts for Planning and Scheduling, ASCE National Structural Engineering Meeting, Cleveland, Ohio, April 24-28, 1972, Preprint N°1644
16. Paulson, Boyd C., Jr. Man-Computer Concepts for Project Management. Technical Report N°148, Stanford: The Construction Institute, Department of Civil Engineering, Stanford University, August, 1971.
17. Antill, James M., and Ronald W. Woodhead. Critical Path Methods in Construction Practice. 2nd ed., New York: John Wiley and Sons, 1970.
18. Paulson, Boyd C., Jr. Project Planning and Scheduling a Unified Approach. ASCE Construction Division. 1974, pp 1-26

**Planeación
y control
de avance de obra**

Se terminó de imprimir en el mes de junio del año 2002 en los talleres de la Sección de Impresión y Reproducción de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco	La edición estuvo a cargo de la Sección de Producción y Distribución Editoriales Se imprimieron 100 ejemplares más sobrantes para reposición.
--	---

2892826

UAM	2892826
TH438	Castro Orvañanos, José
C3.55	Planeacion y control de a

0092101 04253



12.00 - \$ 12.0